

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
25. April 2002 (25.04.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/33817 A1

(51) Internationale Patentklassifikation?: H03D 3/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/03632

(22) Internationales Anmeldedatum:
16. Oktober 2000 (16.10.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: SCHWARTE, Rudolf [DE/DE]; Kreuztaler
Strasse 56, 57250 Netphen (DE).(74) Anwalt: WEBER-SEIFFERT-LIEKE; Gustav-Freytag-
Strasse 25, 65189 Wiesbaden (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

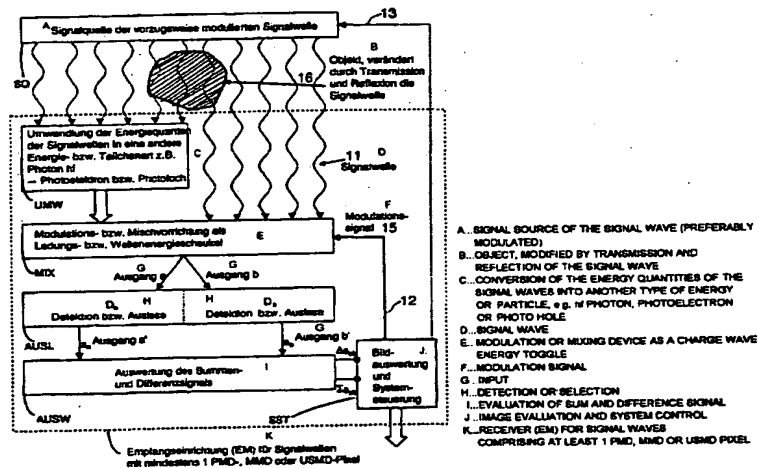
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETECTING AND PROCESSING SIGNAL WAVES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERFASSUNG UND VERARBEITUNG VON SIGNALWELLEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for detecting and processing the amplitude and phase of signal waves, such as for example, electromagnetic waves and sound waves. A modulated signal source generates the signal waves which are modified in their path by a transmission medium or by reflection and scattering by at least one object. The modified signal waves are received and demodulated using a modulation signal which has a specific relationship to the modulation of the signal waves. The amplitude of the modulated signal waves and their phase relationship to the modulation signal are measured and evaluated. In order to obtain a rapid, direct evaluation, the demodulated signal wave is converted into an electrical charge or charge displacement in the receiving medium and is distributed in accordance with a modulation signal to at least two readout outputs and fed to an evaluation unit. The evaluation unit produces the sum and difference of the output signals thus supplying the value of the intensity and the phase position of the signal wave that has been scattered, reflected or delayed by the object. Part of the modulated signal waves that originate from the signal source is transmitted directly as a modulation signal to the readout outputs, or to readout elements connected thereto.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung und Verarbeitung der Amplitude und Phase von Signalwellen, wie zum Beispiel elektromagnetischen Wellen und Schallwellen. Eine modulierte Signalquelle erzeugt die Signalwellen, die auf ihrem Weg durch ein Übertragungsmedium oder durch Reflexion und Streuung an mindestens einem Objekt verändert werden. Die so veränderten Signalwellen werden empfangen und mit einem Modulationssignal, das in einer bestimmten Beziehung zu der Modulation der Signalwelle steht demoduliert. Die Amplitude der modulierten Signalwelle und ihre Phasenbeziehung zum Modulationssignal werden gemessen und ausgewertet. Um eine schnelle und direkte Auswertung zu erhalten, wird die demodulierte Signalwelle in dem Empfängermedium in elektrische Ladung bzw. Ladungsverschiebung umgewandelt und nach Maßgabe eines Modulationssignals auf mindestens zwei Ausleseausgänge verteilt und einer Auswerteeinheit zugeführt. Die Auswerteeinheit bildet Summe und Differenz der Ausgangssignale, welche der Intensität und der Phasenlage der durch das Objekt gestreuten, reflektierten oder verzögerten Signalwelle liefert, wobei ein Teil der von der Signalquelle ausgehenden, modulierten Signalwellen als Modulationssignal unmittelbar auf die Ausleseausgänge bzw. mit diesen verbundene Ausleselemente gegeben wird.

Verfahren und Vorrichtung zur Erfassung und Verarbeitung von Signalwellen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erfassung und zur Verarbeitung der Amplitude und Phase von Signalwellen, insbesondere von elektromagnetischen Wellen im gesamten Bereich von den Mikrowellen über die Wärmestrahlung bis zur Gamma-Strahlung (X-Rays), weiterhin von akustischen Wellen bzw. Ultraschallwellen sowie von sonstigen Strom, Spannung oder Ladung generierenden Strahlungssignalen, im folgenden kurz als **"Signalwellen"** und je nach Anwendung auch als akustische, optische, elektromagnetische Signalwellen, Röntgenwellen oder Mikrowellen bezeichnet, **nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1**, sowie Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens.

Eine wichtige technische Aufgabenstellung in der Industrieproduktion und Automatisierung, in der Messtechnik, im Straßenverkehr, in der Sicherheitstechnik, Umweltmesstechnik und vielen weiteren Bereichen besteht darin, über die Ausbreitung von Signalwellen, d.h. berührungslos mittels Wellenausbreitung entweder passiv (Signalwellen fremd erzeugt) oder aktiv (Signalwellen selbst erzeugt) Informationen über die Signalwellen selbst und insbesondere über deren Quellen oder über Objekte, die die Wellen durch Reflexion oder Transmission insbesondere in der Phase und Amplitude verändert haben, zu erlangen. Messsysteme für derartige Aufgabenstellungen sind seit langem bekannt, insbesondere Laserradars für optische Signalwellen, Mikrowellenradars für Mikrowellen, Ultraschall-Sonare für Schallwellen und Computer-Tomographen für Röntgenwellen. Die vorzugsweise selbst erzeugten Signalwellen einer Signalquelle sind vzw. in geeigneter Weise moduliert. Wird diese Modulation eines sog. Trägersignals durch die zu vermessenden vzw. mehrdimensionalen Objekte in der Phase und Amplitude verändert, so können durch geeignete Demodulation der transmittierten und reflektierten Signalwellen Objektinformationen gewonnen werden, z.B. die Form eines dreidimensionalen Objektes durch Multipunkt- bzw. Multipixelvermessung. Die zugehörigen Empfangseinrichtungen sind sehr aufwendig und enthalten im Allgemeinen nur einen Empfänger. Um dennoch viele Messpunkte der Signalwelle zu vermessen, verwenden sie einen Scanner. Der Stand der Technik für optische Signalwellen wird z.B. in „Handbook of Computer Vision and

Applications", Volume 1, Sensors and Imaging, edited by Jähne et al., Academic Press, auf S. 463ff beschrieben. Dort wird eine neuartige Lösung zur Vereinfachung des optischen Empfängers beschrieben, der sog. Photomischdetektor oder „Photonic Mixer Device“ (PMD), der erstmals in der DE 196 35 932.5 beschrieben wird.

Die durch die einfallende modulierte Lichtwelle im PMD generierten Photoladungen werden nach dem Stand der Technik mit Hilfe mindestens zweier Photogates einem demodulierenden Schaukelprozess ausgesetzt und im Gegentakt ausgelesen und ausgewertet, wodurch Aufwand und Größe des Empfängers um Größenordnungen reduziert werden, was den Aufbau eines bildgebenden Arrays aus vielen pixelartigen Empfängern ermöglicht. Trotz dieser außergewöhnlichen Fortschritte weisen derartige PMD-Pixelexpänger Nachteile auf: Die modulierenden Photogates verursachen eine Dämpfung des einfallenden Lichts. Außerdem wird das modulierende elektrische Driftfeld nicht optimal in Flussrichtung der Photoladung eingebracht. Die Modulationsbandbreite der Modulation der Photostromverteilung mittels dieser Modulationsphotogates ist praktisch auf etwa 1 GHz beschränkt. Weiter ist hiermit eine wesentliche Empfindlichkeitssteigerung durch entsprechende Ausgestaltung dieser bekannten CMOS-Modulationsphotogate-PMDs unter Nutzung einer Ladungsträgervervielfachung durch Stoßionisation (sog. Avalanche-Effekt) oder sonstige Sekundärelektronenvervielfachung schwerlich realisierbar.

Gesucht sind neue Lösungen für Photomischdetektoren ohne Modulationsphotogates mit insbesondere höherer Modulationsbandbreite bzw. Genauigkeit und höherer Empfindlichkeit.

Dieser Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, für optische Signalwellen neuartige vorteilhafte PMD-Empfängerprinzipien unter Vermeidung von Photogates vorzuschlagen und entsprechende Vorrichtungen zur Durchführung eines solchen Verfahrens vorzuschlagen und zugleich ein solches Verfahren auf andere Signalwellen wie Mikrowellen, Schallwellen und Röntgenstrahlen auszudehnen und entsprechende Vorrichtungen zur Durchführung eines solchen Verfahrens vorzuschlagen.

Ein entsprechendes Verfahren soll die Möglichkeit schaffen, die Empfangseinrichtungen für die recht unterschiedlichen Eigenschaften der genannten Arten von Signalwellen gezielt zu vereinfachen und zu verkleinern, so dass mit geringem Aufwand eine Vielzahl von Empfangspixeln parallel betrieben werden

kann, die Leistungsfähigkeit und Funktionalität erhöht und z.B. eine 3D-Bildaufnahme ermöglicht wird. Die Empfangseinrichtung soll so ausgelegt sein, dass eine Verstärkung und Verarbeitung des Trägersignals entscheidend reduziert wird und die Leistungsmerkmale wie Messempfindlichkeit, Messgenauigkeit usw. gesteigert werden.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Verfahrensanspruchs 1, durch die für verschiedene Signalwellen spezifische Präzisierung dieses Verfahrens und durch die nachfolgenden Vorrichtungsansprüche zur Durchführung des Verfahrens gelöst. Dieser Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass ein gemeinsames, von der Art der Signalwellen unabhängiges Empfangsverfahren in einem demodulierenden Gegentakt-Schaukelprozess besteht und technisch vorteilhaft realisierbar ist, und dass für optische Signalwellen bzw. der von diesen generierten Photoladungen in Abwandlung des bekannten Verfahrens ein solcher Schaukelprozess nicht auf die bekannte Verwendung von Photogates in den CMOS- und CCD-Photogate-PMDs angewiesen ist und dass für verschiedene optische Aufgabenstellungen neuartige, sehr vorteilhafte alternative PMD-Verfahren und entsprechende PMD-Realisierungen angebar sind und dass dieser demodulierende Gegentakt-Schaukelprozess auf sehr verschiedene Arten von Signalwellen wie Mikrowellen und Ultraschallwellen und Röntgenstrahlen anwendbar ist und dass entsprechende Vorrichtungen zur Durchführung dieses Verfahrens prinzipiell für alle Arten von Signalwellen angebar sind.

Es wird also ein grundlegendes erfindungsgemäßes Verfahren vorgeschlagen, das auf alle Arten von Signalwellen angewendet werden kann und das eine wesentliche Vereinfachung des Messvorgangs zur Erfassung und Verarbeitung der Phase und Amplitude von Signalwellen erlaubt, da Detektion und Mischung in einem neuen Bauelement, einem inhärent mischenden Empfangspixel, vereinigt und integriert werden

Neuartig und vorteilhaft sind insbesondere die erfindungsgemäßen detektionsinhärenten Misch- bzw. Demodulationsvorgänge der modulierten Signalwelle bzw. der entsprechenden umgewandelten Signalwelle bzw. der gleichgerichteten Modulationswelle durch einen demodulierenden Gegentakt-Schaukelprozess mit einem in geeigneter Beziehung zur Modulation der Signalwelle stehenden Modulationssignal.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren, mit dem das Empfangsprinzip der Phasen- und Amplitudenmessung der modulierten Signalwelle wesentlich vereinfacht und verbessert werden kann, wird eine modulierte Signalwelle von einer Signalquelle (SQ in Fig. 1) ausgesendet.

Bevor die Signalwelle 11 auf eine Empfangseinrichtung EM mit mindestens einem Empfangspixel für optische oder akustische oder Mikrowellen- oder Röntgen-Signalwellen trifft, durchläuft sie ein geeignetes Ausbreitungsmedium und wird vzw. durch Transmission und/oder Reflexion durch zu untersuchende Objekte 16 im Raum verändert. In der Empfangseinrichtung EM trifft die Signalwelle vzw. nach geeigneter Abbildung entweder über einen Signalumwandler UMW, der die Signalwelle in eine andere Teilchenart umwandelt oder direkt auf eine als Modulations- bzw. Mischvorrichtung wirksame Ladungs- bzw. Teilchen- bzw. Wellenenergieschaukel MIX. Die Modulation der Signalquelle SQ wird bei aktiver Beleuchtung bzw. Bestrahlung bzw. Beschallung über die Leitung 13 vzw. ebenso wie die Modulation bzw. Mischung der Mischvorrichtung (MIX) über die Leitung 12 von der Systemsteuerung (SST) gesteuert. In bestimmten Anwendungen kann das Modulationssignal auch fremdbestimmt bzw. unbekannt sein. Dann wird die Modulation der Signalwelle z.B. durch Scannen der Modulationsfrequenz oder der Codierung in der Mischvorrichtung (MIX) ermittelt und ihre Amplituden und Phasen werden pixelweise ausgewertet.

Die Modulations- bzw. Mischvorrichtung bewirkt mittels des Modulationssignals über eine mindestens zweifach richtungsmodulierende Wellenenergieschaukel (für z.B. Photonen oder Phononen) bzw. Energiequantenschaukel (für z.B. Photoelektronen) eine Gegentakt-Mischung bzw. -Demodulation der Signalwelle. Die so erhaltenen Energiequanten bzw. Ladungen stellen die gesuchten Mischprodukte dar und werden über die mindestens zwei Gegentakt-Ausgänge a und b auf die zwei Ausleseseinheiten Da und Db der Ausleseeinrichtung AUSL geleitet.

Die Detektions- bzw. Ausleseeinheit (AUSL) mit den separierten Ausgängen a' und b' nimmt vorzugsweise eine Mittelung der Signalamplituden z.B. durch Stromgleichrichtung bzw. Stromauslese vor und gibt die zugehörigen Ausgangssignale s_a und s_b an die Auswerteeinheit (AUSW) weiter. Je nach dem Auswerteziel werden diese Mischsignale hier z.B. für eine 3D-Bildauswertung einer Kurzzeitintegration bzw. Kurzzeitkorrelation unterzogen. Weiterhin wird vzw. in der

Auswerteeinheit die Differenz Δs_{ab} , die in der Regel die Autokorrelationsfunktion und die Summe Σs_{ab} , die die Signalwellenamplitude repräsentiert gebildet und an die Bildauswertung und Systemsteuerung SST weiter gegeben. Nichtkorrelierte Mischprodukte an den Ausgängen a und b sind aus Symmetriegründen gleich groß und werden erfindungsgemäß entweder durch die Art des Schaukelprozesses als Gleichanteil z.B. kapazitiv unterdrückt oder sie werden vzw. geregelt durch einen zusätzlich überlagerten kompensierenden Gleichanteil unterdrückt. Damit wird die Messdynamik des erfindungsgemäßen Verfahrens um Größenordnungen verbessert. Die Systemsteuerung und vzw. Bildauswertung (SST) bei Mehrpixelsystemen gibt die gesuchten anwendungsspezifischen Daten aus, z.B. eine 3D-Bildfolge, und steuert zugleich das System.

Unabhängig von der Art der betrachteten Signalwelle wird in einer derartigen erfindungsgemäßen Empfangseinrichtung bzw. in einem vollständigen Meßsystem mit Sende- und Empfangseinrichtung die Erfassung und Verarbeitung nach dem grundlegenden gemeinsamen Verfahren des Anspruchs 1 verwirklicht. Signalabhängige Unterschiede ergeben sich bei einer Präzisierung der einzelnen Verfahrensschritte und insbesondere bei der technischen Durchführung des Verfahrens.

Die Präzisierung der Verfahrensschritte für optische oder akustische oder Mikrowellen- oder Röntgen-Signalwellen und Beispiele für die entsprechende Durchführung dieses erfindungsgemäßen Verfahrens werden nachfolgend beschrieben. Dabei werden die elektromagnetischen Wellen aufgrund des unterschiedlichen Detektionsprinzips nach Mikrowellen (ohne Photoeffekt) und Optische Wellen (mit Photoeffekt etwa ab 15 THz) unterschieden.

1. Präzisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens und Beispiele zu seiner Durchführung für die Ultraschall-Mischdetektion und den Ultraschall-Mischdetektor bzw. Ultra Sonic Mixer Device **USMD**:

1.1 Für akustische bzw. Ultraschall-Signalwellen bestimmt ein Modulationssignal 15, vorzugsweise ein Gegentakt-Modulationssignal, mit Hilfe einer geeigneten Modulationsvorrichtung als Gegentakt-Phononenschaukel MIX, wann und in welchem Maße die einfallende Signalwelle bzw. deren Signalenergie in Form von Phononen vorzugsweise dem einen oder dem anderen von mindestens zwei Detektoren Da und Db der Detektions- und Auslesevorrichtung und vorzugsweise

einer Vielzahl von Detektoren, die mindestens zwei Detektorgruppen bilden, zugeteilt wird. Diese Detektorgruppen können z.B. als zwei Gruppen von je 2, 4 oder 8 Zeilen von Kondensatormikrofonen bzw. in Luft oder Piezodetektoren in Luft oder Flüssigkeit ausgeführt sein. Die Ultraschall-Signalwelle 11 besteht bzw. aus einem amplitudenmodulierten Hochfrequenzträger. Er wird bzw. durch einen Wandler UMW zunächst in ein elektrisches Signal umgewandelt und bzw. unter Eliminierung des Trägersignals demoduliert und nachfolgend der Mischvorrichtung MIX zugeführt und wie zum grundlegenden Verfahren beschrieben ausgelesen und ausgewertet. Die Mischung kann erfindungsgemäß auch in einer rein akustischen Mischvorrichtung MIX unmittelbar im akustischen Bereich erfolgen. Dabei wird bzw. die Energieschaukel (MIX) und die entsprechende Zuteilung der auf die Mitte zwischen den Detektorzeilen konzentrierte Signalwellenenergie auf die eine oder die andere Ultraschall-Detektorzeile D_a oder D_b mit geringen akustischen oder mechanischen Querbbeeinflussungen und Kräften durch ein akustisches Modulationssignal 15 bewirkt. Die Einflussnahme des Modulationssignals erfolgt vorzugsweise über eine akustische bzw. Ultraschallanregung senkrecht zur Einfallsrichtung der Signalwelle in einer geeigneten Akustikkonstruktion, z.B. unter Einsatz von Piezoelementen. Durch Differenzbildung der mindestens zwei Detektor- bzw. Auslesesignale s_a und s_b in der Auswerteeinheit (AUSW) wird die Pixelphase zwischen der einfallenden Signalwelle und der Modulationsphase bestimmt. Durch Summenbildung wird die Pixelamplitude der betreffenden Signalwelle eines solchen USMD-Pixels bestimmt. Durch die Definition derartiger Ultraschall-Misch-Detektoren als USMD-Pixel und ihre Anwendung in Ultraschallzeilen und Matrixkameras eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten in der Ultraschallmesstechnik und Ultraschall-Bildaufnahme, insbesondere der bestrahlungsselektiven, dreidimensionalen Vermessung. Für die technische Realisierung bieten sich die Verfahren der Mikrosystemtechnik, z.B. LIGA-Verfahren, an.

- 1.2 Eine beispielhafte Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens für Schallwellen enthält mindestens ein USMD-Pixel (Fig. 24). Die von der Signalquelle SQ abgestrahlte Schallwelle ist bzw. amplitudenmoduliert, z.B. eine Ultraschallträgerfrequenz im 200 KHz bis 20 MHz-Bereich, die mit einem

Modulationssignal im 10Hz- bis 10KHz-Bereich z.B. sinusmoduliert ist. Über eine Schalllinse bzw. Schallantenne 243a, z.B. eine Parabolspiegelantenne, wird die Signalwelle 11 auf mindestens ein USMD-Pixel abgebildet. Ein Schalldetektor je Pixel 244a wandelt die Signalwelle in ein entsprechendes Spannungs- oder Stromsignal 244b um, das vzw. verstärkt und dann demoduliert wird. Dieses empfangene Modulationssignal 246b wird zusammen mit dem Modulationssignal $15 \ u_m(t - t_d)$ der Systemsteuerung SST auf die Mischvorrichtung MIX mit integrierter Ausleseeinrichtung AUSL (247a) geleitet, die vzw. als integrierter 1-bis 4-Quadrantenmultiplizierer 247a ausgeführt ist und das Mischprodukt vzw. im Gegentakt an den Ausgängen a' und b' liefert. Zur Ermittlung der Laufzeit τ mittels der Korrelationsfunktion werden deren Werte vzw. für $t_d = 0 / \frac{T_m}{4} / \frac{T_m}{2} / \frac{3T_m}{4}$ vermessen. Anschließend wertet die Auswerteschaltung AUSW vzw. die Korrelationsfunktion als Differenz ΔS_{ab} , das Summensignal und die Signalbeträge aus, die durch die Bildauswertung und Systemsteuerung SST verarbeitet und anwendungsspezifisch aufbereitet und ausgegeben werden.

Fig. 24 zeigt beispielhaft eine Messvorrichtung, die mit mehreren USMD-Pixeln eine Ultraschall-3D-Kamera bzw. ein 3D--Sonar bildet. Jedes USMD-Pixel wird dabei vzw. mikrosystemtechnisch und mikroelektronisch integriert aufgebaut, wobei die Mischvorrichtung vzw. als integrierter 1-4Quadranten-Multiplizierer ausgeführt ist.

2. Präzisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens und Beispiele zu seiner Durchführung für die Mikrowellen-Mischdetektion und den Mikrowellen - Mischdetektor bzw. Microwave Mixer Device **MMD**:

2.1 Die Signalquelle SQ sendet vzw. sehr kurzwellige elektromagnetische Signalwellen der Trägerfrequenz f_T im Mikrowellenbereich aus, die über die Leitung 13 vzw. Amplitudenmoduliert sind. Ein Modulationssignal über die Leitung 12, vorzugsweise ein Gegentakt- Modulationssignal, bestimmt mittels der Modulationseinrichtung bzw. Energieschaukel (MIX), wann und in welchem Maße die einfallende Signalwelle bzw. deren Signalenergie in Form von Photonen oder über geeignete Antennen von der Signalwelle generierter Spannungen oder Ströme, die vzw. in der Gegentakt-Mischvorrichtung gleichgerichtet werden,

modulationsabhängig dem einen oder dem anderen von mindestens zwei Detektoren D_a und D_b mit zugehörigen Ausgängen zugeteilt wird.

2.2 In einem ersten Ausführungsbeispiel kann die Mikrowellen-Signalenergie über einen **akustoelektrischen Modulator für Mikrowellen** – analog zum akustooptischen Modulator – mit einer entsprechend sende- und empfangsseitig vereinbarten Modulationsfrequenz der Signalwelle und der demodulierenden Mischvorrichtung mindestens zwei zugeordneten Detektoren D_a und D_b zugeteilt werden. Vorzugsweise können auch einer Vielzahl von Detektoren, die mindestens zwei Detektorgruppen bilden, z.B. zwei Gruppen von je 2, 4 oder 8 Zeilen von Dipolempfängern, die Energiequanten bzw. Photonen zugeteilt werden. Die Einflussnahme des Modulationssignals auf die Signalwelle erfolgt. Über den Brechungsindex einer Dichtewelle, z.B. über einen dem akustooptischen Modulator (AOM) entsprechenden quasioptischen, akustischen Mikrowellenmodulator. Als Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens bildet eine durch das Modulationssignal angeregte stehende Ultraschallwelle in einer geeigneten Materialplatte eine Serie paralleler Zylinderlinsen jeweils mit einer zugehörigen Fokuslinie unter dem Dichtemaximum. Da Dichtemaximum und Dichteminimum im Takt der Modulationsfrequenz ihre Position tauschen, wird die Mikrowellenenergie ebenso auf die Fokuslinien verteilt. In diesen Fokuslinien angeordnete Detektorzeilen bzw. Gruppen von Detektorzeilen D_a und D_b , die z.B. als polarisationsangepasste Dipolzeilen ausgeführt sind, liefern z.B. über hochfrequente Gleichrichtung die Signalamplituden bzw. Dipolströme s_a und s_b , deren Summe die Pixelintensität und deren Differenz die Pixelphase enthält. Durch Differenzbildung der mindestens zwei Detektorsignale wird die Pixelphase zwischen der einfallenden Signalwelle und der Modulationsphase und durch Summenbildung bzw. Betragsbildung die Pixelamplitude des betreffenden Mikrowellenmischdetektor(MMD)-Pixels bestimmt.

2.3 In einer zweiten Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf Mikrowellenbasis mit einer **Schottky-Dioden-Ladungsschaukel** (Fig. 26 zeigt ein ähnliches, weiter entwickeltes Ausführungsbeispiel mit zusätzlicher Mischverstärkung) wird zunächst durch einen Umwandler (UMW) die Signalwelle in einen Antennenstrom umgewandelt. Zur Rückgewinnung des Modulationssignals dient vzw. eine Gleichrichterschaltung aus Schottkydioden

innerhalb der zusammengefassten Misch- und Auslesevorrichtung MIX+AUSL, im einfachsten symmetrischen Fall ein Paar antiparalleler Schottkydioden D_a und D_b an einem vzw. symmetrischen Antennenausgang. Das Modulationssignal ist im einfachsten Fall ein Rechtecksignal, das den Mikrowellenträger der Signalquelle SQ über die Leitung 13 ein- und ausschaltet. Für die Demodulation in dieser Ladungsschaukel MIX+AUSL wird das entsprechende Modulationssignal als Gegentakt-Rechteckspannung $\pm u_m(t)$ über Koppelnetzwerke KN_{ma} und KN_{mb} , vzw. als Koppelkapazitäten C_a und C_b zusätzlich zu einer induktiven Entkopplung der Mikrowellen ausgeführt, symmetrisch an das Diodenpaar gelegt. Die mit unbekannter Laufzeit τ bzw.

Phase ϕ_m verzögerte Eingangs-Signalwelle $S_E(t-\tau)$ wird so je nach der Phasenlage der Diodenvorspannung einen Gleichrichterstrom durch die Diode D_a oder die Diode D_b verursachen und die Koppelkapazitäten C_a und C_b aufladen. Bei 90° Phasenverschiebung fließt aus Symmetriegründen der gleiche Gleichrichterstrom in die eine wie die andere Richtung, so dass der Summenstrom bzw. die Integrationsladung Null ergibt. Abweichungen dieses Summenstromes von der Symmetrie bei unkorrelierter z.B. Hintergrundbeleuchtung werden vzw. zur Referenzierung der Messergebnisse der korrelierten Signalwelle mittels entsprechender zusätzlicher Messzyklen verwendet. Bei 0° Phasenverschiebung fließt ein maximaler Gleichrichterstrom in die eine Richtung, bei 180° Phasenverschiebung in die andere Richtung. Die Korrelationsfunktion über der Laufzeit weist bei Rechteckmodulation die bekannte Dreiecksform auf. Die Stromauslese der antisymmetrischen Ladungen auf C_a und C_b mit der Ausleseschaltung AUSL erfolgt bei so kleinen Spannungswerten oder niederfrequent so niederohmig, dass die Ladespannung und entsprechende Rückströme über die Dioden zu vernachlässigen sind. Die nichtkorrelierte Hintergrundstrahlung führt aus Symmetriegründen zu sich gegenseitig kompensierenden Ladungen auf den Koppelkapazitäten und wird auf diese Weise bis auf korrigierbare Symmetriefehler automatisch unterdrückt. Die gesamte Empfangseinrichtung besteht vzw. aus einer abbildenden Fresnel-Mikrowellenlinse bzw. Parabolspiegellinse, einem Array von vzw. Patch-Antennen als Bildpixelarray zur Umwandlung der Feldenergie in Strom/Spannungsenergie (UMW), ferner Mischvorrichtung + Auslese, der Auswertung AUSW sowie der nachfolgenden Bildauswertung. Nach jeder

Bildpunktauswertung der Größen ΔS_{ab} , der Beträge von S_a und S_b und der Summe ΣS_{ab} kann ein 3D-Bild erzeugt werden. Die Koppelkondensatoren werden entsprechend der Bildrate bzw. über mindestens einen Reset-Schalter entladen. Zur Ermittlung der Laufzeit wird die Lage der Korrelationsfunktion $KKF(\tau) = \Delta S_{ab}(\tau)$ über bzw. 4 Phasenmessungen ermittelt. Dazu wird das Modulationssignal der Mischeinrichtung in vier Stufen $\varphi_{md} = 0^\circ / 90^\circ / 180^\circ$ und 270° bzw. $t_d = 0 / \frac{T_m}{4} / \frac{T_m}{2} / \frac{3T_m}{4}$ verzögert. Die Laufzeit ergibt sich als $\tau = 0,25T_m (\Delta I_m / (\Delta R_e + \Delta I_m))$ mit $\Delta I_m = \Delta S_{ab}(90^\circ) - \Delta S_{ab}(270^\circ)$ und $\Delta R_e = \Delta S_{ab}(0^\circ) - S_{ab}(180^\circ)$.

- 2.4 Fig. 26 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel des Verfahrens für Mikrowellen, wie zuvor, jedoch mit zusätzlicher Mischverstärkung, die die Empfindlichkeit einer 3D-MMD-Kamera wesentlich zu steigern vermag, aber auch eine gewisse Kohärenz des Trägers voraussetzt. In Fig. 26 ist nur eines von mehreren MMD-Pixeln einer 3D-MMD-Kamera ausgeführt. In Fig. 27 sind die wesentlichen zugehörigen Signalverläufe des Meßablaufs und die bzw. 16 Messzyklen aufgeführt, die teilweise auch im Raummultiplex durchgeführt werden können. Zur Realisierung der Mischverstärkung wird in den durch die bzw. rechteckförmigen Modulationsspannungen $\pm u_m(t-t_d)$ bestimmten Diodenarbeitspunkten dem Empfangssignal zusätzlich ein Teil des Sendesignals überlagert. Die Phase dieses Mischsignals erhöht bei richtiger Phasenlage den Gleichrichterwirkungsgrad bzgl. des Empfangssignals um ein Vielfaches. Da die Empfangsphase aber nicht bekannt ist, muss die Korrelationsfunktion bzgl. des hochfrequenten Trägers ermittelt werden. Dazu wird das Mischsignal $\pm u_x(t)$ bzw. um vier Phasenstufen verzögert gegenüber dem Sendesignal eingesetzt, um so die Einhüllende und damit die Korrelationsfunktion des Modulationssignals und die gesuchte Laufzeit τ zu ermitteln. Dabei kann bzw. eine Modulation des Trägers verwendet werden, die im Takt der Polarität des Modulationssignals die Trägerphase zwischen 0° und 180° umschaltet. Erfindungsgemäß wird eine Fülle weiterer Modulationsarten für verschiedene Anwendungsziele neben der 2PSK(Two Phase Shift Keying)-Trägermodulation vorgeschlagen, z.B. QPSK und Pseudo-Random-Phasen- und/oder Amplitudenmodulation. Zur Referenzierung der Messergebnisse werden erfindungsgemäß Vergleichsmessungen durchgeführt, z.B. mit

Signalwelle und ohne. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit werden die beiden Arbeitspunkte gemäß Amplitude des vzw. rechteckigen Schaukel- bzw. Umschaltsignals $\pm u_m(t)$ zu möglichst niedrigen antisymmetrischen Diodenströmen gelegt. Die durch entsprechende Nichtlinearitäten verursachten Fehler der Korrelationsfunktionen von Träger- und Mischsignal werden in der Auswertung berücksichtigt.

3 Insbesondere für optische Signalwellen werden neuartige und relativ unterschiedliche Verfahrenspräzisierungen und Vorrichtungen zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit sehr vorteilhaften Merkmalen unter Vermeidung der Nachteile von Photogates vorgeschlagen:

1. Metallische Modulationselektroden mit oder ohne Selbstmodulation der Ausleseelektroden: **ME/SM-PMD** auf Basis einer PIN-Photodioden-Technologie,
2. Metal-Semiconductor-Metal **MSM-PMD** auf Basis von Schottky-Photodioden,
3. **APD-PMD** auf Basis der Avalanche-Photodioden-Technologie,
4. Auf Vakuumröhren-Basis wird ein neuartiges sog. **VAC-PMD** und insbesondere auf Bildverstärkerröhrenbasis ein sog. **MCP-PMD** mit zusätzlicher Micro-Channel-Plate-Verstärkung vorgeschlagen.
5. **AOM-PMD** auf der Basis einer Wellenenergie-Schaukel mit Akusto-Optischem-Modulator,
6. **Piezo-PMD** auf Basis der durch eine Ultraschallwelle in den Schaukelprozess eingebrachten Piezospannung bzw. Piezofeldstärke,
7. **Mikrospiegel-PMD** auf Basis winkelmodulierter Mikrospiegelarrays vzw. für die Empfangsseite und die Sendeseite im erfindungsgemäßen Verfahren,
8. **Zeitaufgelöste PMD-Spektroskopie** mit zusätzlicher spektraler Messung und Zuordnung von Relaxationszeiten der Quantenübergänge,
9. **Röntgen-PMD** mit modulierter Röntgenstrahlung und Auswertung insbesondere der Sekundärstrahlung in der Messobjekten,
10. **2D-PMD/USMD/MMD-Kamera** für höchste 2D-Empfindlichkeit und spektrale Auflösung bei niedrigen Modulationsfrequenzen.

3.1 ME/SM-PMD

In einer ersten Präzisierung des Verfahrens für optische Signalwellen wird ein neues und vorteilhaftes, inhärent mischendes optisches Empfangspixel bzw. PMD-Pixel,

bekannt als Photomischdetektor (Photonic Mixer Device PMD), vorgeschlagen, das keine Modulationsphotogates aufweist.

Die bisher bekannt gewordenen Photomischdetektoren weisen Modulationsphotogates auf, die das einfallende Licht dämpfen. Die Richtung des so eingebrachten Driftfeldes entspricht nur begrenzt der gewünschten Transportrichtung der Photoladungen. Vorgeschlagen werden Modulationselektroden, die die Ausleseelektroden überdeckend abschirmen und metallisch ausgeführt sein können und Photoladungen in unerwünschten Bereichen verhindern und zugleich ein effektiveres Driftfeld im photosensitiven Modulationsvolumen erzeugen.

Fig. 2 zeigt die Halbleiter-Photodiodenstruktur des ME/SM-PMD im Querschnitt in der doppelten Ausführung zur parallelen Inphase- und Quadraturephase-Messung. Die Gegentakt-Modulationsgeneratoren können wahlweise nur die Modulationselektroden ME₁ bzw. ME₂ oder zugleich die Auslesekatoden (K₁, K₂) über C_K modulieren.

Fig. 3 einen Querschnitt eines Teils eines ME-PMD ohne Selbstmodulation und mit einer Ausführung der Offset- bzw. Hintergrundlichtstrom-Kompensation. Durch Messen der Auslese-Kathoden-Spannungen können die symmetrischen Offsetströme $i_{\text{off,a}}$ und $i_{\text{off,b}}$ so geregelt werden, dass der linearen Aussteuerbereich der Ausleseschaltung nicht verlassen wird.

Die vorliegende Erfindung betrifft durch die besondere Eigenschaft der Selbstmodulation durch die Ausleseelektroden im optischen Bereich auch MSM-PMD, APD-PMD, und VAC-PMD und damit alle Halbleiter-Photodiodenstrukturen (Fig. 2 - 8) und Vakuum-Photodiodenstrukturen (Fig. 19,20) bestehend aus mindestens zwei Photodioden und vzw. einer Vielzahl von Photodioden, die jeweils eine Anode (A₁, A₂) und eine vzw. gemeinsame Kathode (K) und bei der Halbleiter-Photodiodenstruktur alternativ jeweils eine Kathode (K₁, K₂) und eine vorzugsweise gemeinsame Anode (A) aufweisen, wobei die Anoden- und Kathodenbereiche der Halbleiter-Photodiodenstruktur jeweils durch geeignet dotierte Bereiche in oder in Verbindung mit einem photoempfindlichen Halbleitermaterial (3) definiert sind und wobei bei der Vakuum-Photodiodenstruktur die Kathode durch eine lichtempfindliche bzw. strahlungsempfindliche Photokathode (K) und die mindestens zwei Anoden (A₁, A₂) durch positiv vorgespannte Elektroden im gemeinsamen Vakuumgefäß (191) definiert sind, und wobei die Anoden und Kathoden jeweils elektrische Anschlüsse (A'_{1,2} bzw. K') aufweisen, und wobei in unmittelbarer Nähe der mindestens zwei

Anoden bzw. der mindestens zwei Kathoden durch geeignete Vorspannungen in der Raumladungszone bei der Halbleiterphotodiodenstruktur bzw. im Vakuum bei der Vakuumdiodenstruktur ein Modulationsvolumen definiert ist, in dem durch die eingestrahlten Lichtsignale über den inneren und/oder äußeren Photoeffekt Photoladungen bereitgestellt werden, und wobei vzw. mindestens zwei den jeweils mindestens zwei Anoden bzw. Kathoden zugeordneten Modulationselektroden (ME_1 , ME_2) mit jeweils den elektrischen Anschlüssen ($ME'_{1,2}$) ebenfalls in unmittelbarer Nähe des die Photoladung aufweisenden Modulationsvolumen angeordnet sind.

Die mindestens zwei Modulationselektroden (ME_1 , ME_2) sind nicht als Modulationsphotogates, sondern so ausgeführt, dass sie das einfallende Licht nicht beeinträchtigen, und dass diese Halbleiterphotodiodenstruktur sowie diese Vakuumdiodenstruktur als Photomischdetektor betrieben werden kann, indem die Photoladung im Modulationsvolumen einem modulierten elektrischen Driftfeld ausgesetzt wird, das sie je nach dessen Polarität und Intensität vornehmlich zur einen der jeweils mindestens zwei als Ausleseelektroden wirkenden Elektroden (A_1 oder A_2 bzw. K_1 oder K_2) driften lässt, wobei das Modulationsdriftfeld verschiedenartig erzeugt werden kann, vzw.

- a) durch alleinige Modulation der jeweils mindestens zwei Anoden bzw. Kathoden vzw. mit einer Gegentakmodulationsspannung ($\pm u_m$), die deren Vorspannungen und deren kleinen zu erfassenden Signalspannungen aufgrund der Photoladungen bzw. Photoströme überlagert sind, wobei im einfachsten Fall keine Modulationselektroden vorgesehen sind, wie insbesondere beim MSM-PMD, oder wobei die mindestens zwei Modulationselektroden (ME_1 , ME_2) nicht das Modulationsfeld, wohl aber die statischen elektrischen Felder z.B. zur Unterdrückung eines parasitären Transistoreffekts unterstützen, und wobei eine sehr geringe Dotierung der Raumladungszone vorteilhaft ist oder vzw.
- b) durch alleinige Modulation der jeweils mindestens zwei Modulationselektroden (ME_1 , ME_2) mit vzw. einer Gegentakmodulationsspannung ($\pm u_m$), wobei für hohe Empfindlichkeit das kapazitive Übersprechen auf die Auslesekatoden bzw. Ausleseanoden durch ein gegenphasig eingekoppeltes Modulationssignal gleicher Amplitude kompensiert wird, und wobei unterstützend eine stehende akustische Welle in einem geeigneten piezoelektrischen Halbleitermaterial erzeugt wird, deren elektrische Feldkomponente das Modulationsdriftfeld unterstützt, oder vzw.

- c) durch gleichzeitige, in der Amplitude und Phase und Vorspannung abgestimmte Modulation sowohl der jeweils mindestens zwei Ausleseelektroden (A1 und A2 bzw. K1 und K2) als auch der mindestens zwei zugehörigen Modulationselektroden (ME₁, ME₂), wobei die elektrischen Anschlüsse entsprechend der Modulationsart ausgeführt werden, wobei die elektrischen Anschlüsse der mindestens zwei Ausleseelektroden (A'1 und A'2 bzw. K'1 und K'2) über zugehörige, geeignete Auslesenetzwerke (AN_{1,2}) mit einer Auswerteschaltung (AS) und im Falle der Modulation der Ausleseelektroden über geeignete Koppelnetzwerke (KN_{1,2}) zugleich mit dem Modulationsgenerator (MG) verbunden sind und wobei die elektrischen Anschlüsse der mindestens zwei zugehörigen Modulationselektroden (ME'₁, ME'₂) über geeignete Koppelnetzwerke (KN_{1,2}) mit dem Modulationsgenerator (MG) verbunden sind.

3.2 MSM-PMD

Fig. 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel eine MSM-PMD im Querschnitt und Fig. 5 in der Aufsicht. Die Metallstreifen auf n-dotiertem Halbleiter stellen Schottky-Übergänge dar. Hier liegt reine Selbstmodulation der Ausleseanoden vor. Hohe Modulationsbandbreiten im GHz-Bereich ermöglichen höchste Messgenauigkeiten der Laufzeiten.

3.3 APD-PMD

Fig. 6 zeigt den Querschnitt eines APD-PMD. Die Auslekathoden sind mit einer p-Dotierung als Hochfeldzone umgeben und in Streifenform oder in Halbkugelform ausgeführt, um durch ein stark inhomogenes Feld den Avalanche-Effekt zu unterstützen. Die Vorspannung der Photodioden wird vzw. geregelt bis an die Grenze zum Durchbruch erhöht. Durch die zusätzliche Modulationsspannung entweder an den Auslekathoden oder gemeinsam an der Anode wird der Photostrom im Takt der Modulationsspannung verstärkt, was dem Mischen der Ladungsschaukel gleichkommt.

3.4 VAC-PMD und MCP-PMD

Zweitens wird für optische Signalwellen ein Vakuum-Photomischdetektor (Vac-PMD) vorgeschlagen, bei dem zunächst eine Photokathode als Wandler der Photonen in Photoelektronen vorgeordnet ist, und bei dem die Modulationseinrichtung bzw.

Ladungsschaukel aus modulierten Elektroden im Vakuum besteht, die den Elektronenstrom steuern.

a) Durch Modulation bzw. im Gegentakt der Anodenspannung selbst von mindestens zwei bzw. benachbarter streifenförmiger Anoden, die die Verteilung der Elektronen gemäss dieser Modulationsspannung steuert.

b) Durch modulierte, jeder Anode zugeordnete Gitter, die die Elektronen gemäss der Modulationsspannung auf die vorzugsweise unmodulierten mindestens zwei Anoden verteilen.

c) Durch Modulation der streifenförmigen Metallisierung der der Photokathode als Anode zugewandten Stirnfläche einer Mikrokanalplatte (MCP) mit mindestens zwei Streifen, die vorzugsweise im Gegentakt moduliert werden, wird die Verteilung der Elektronen auf die die Elektronen vervielfachenden Mikrokanäle gesteuert. Diese 2D-Sekundärelektronenvervielfachung erfolgt nach dem Schaukelprozess bzw. Mischprozess und beeinträchtigt die Zeitauflösung nicht.

Hierbei kann bei größerer Pixelzahl dieser Vac- oder MCP-PMD bzw. anstelle einer Stromauslese auch eine optische Auslese über einen Leuchtschirm mittels CCD-Kamera erfolgen, indem der Strom freier Elektronen auf einen Leuchtschirm projiziert wird, wobei die entsprechenden Differenz- und Summenwerte Δs_{ab} und Σs_{ab} der stromäquivalenten Signale aus den CCD-Ladungen zu bilden sind.

Für die Anordnung der Anodenstreifen in Fingerstruktur gelten analog zur bekannten PMD-Fingerstruktur ähnliche Strukturen.

Die in Fig. 19 dargestellte Ausführung einer VAC-PMD (19) zur erfindungsgemäßen Durchführung des Verfahrens ist bis auf die Begrenzung zum Fernen Infrarot bis etwa 2 μm die große spektrale Breite der Photokathode (K) insbesondere auch für energiereiche Strahlungsquanten unterschiedlicher Strahlungsarten von besonderer Bedeutung für viele neuartige Anwendungen. Die im Vakuum über der Photokathodenfläche vom Lichtsignal erzeugten Photoelektronen werden mit einigen 10 bis zu einigen 100 Volt in kurzer Flugzeit von einigen 10 bis zu einigen 100 ps die Strecke von etwa 0,1 bis etwa 1 mm von der Photokathodenfläche bis zu den Anoden A_1 und A_2 zurücklegen. Nach der Richtungsmodulation zu einer oder anderen Anodengruppe ist der Mischprozess bereits abgeschlossen, so dass eine Bandbreite von über 10 GHz erreichbar ist. Die Auswertungsmöglichkeiten der Mischprodukte beim Vakuum-PMD unterscheidet sich prinzipiell nicht von denen zum Halbleiter-PMD. Der entscheidende Unterschied große Vorteil liegt in der Möglichkeit

einer nachgeschalteten Verstärkung durch Ladungsträgervervielfachung, vorzugsweise durch Sekundärelektronenvervielfachung mittels einer Kanalplatte (**Micro Channel Plate MCP**) (201), die aus einer etwa 0,5 bis zu wenigen mm dicken Scheiben von etwa 100.000 Glasröhrchen pro cm^2 besteht, die als hoch verstärkende Auslesekanäle der Photoelektronen betrieben werden. Die der Photokathode zugewandte Stirnfläche der Kanalplatte ist dabei leitend, vorzugsweise metallisch, in Streifen beschichtet, die die mindestens zwei Anoden A_1 und A_2 darstellen, die zu mindestens zwei Gruppen von Anoden mit jeweils gemeinsamem Anschluss A'_{1a} und A'_{2a} gehören. Die gegenüberliegende Stirnfläche der Kanalplatte vorzugsweise insgesamt metallisch beschichtet und weist eine für die Sekundärelektronenvervielfachung geeignete Spannung zwischen beiden Stirnflächen auf.

Die Auslese der verstärkten Photoelektronen geschieht entweder direkt über eine paarweise, den modulierenden Anodenstreifen angepasste Pixelstruktur mit Ladungsauslese oder über eine Leuchtschicht und eine pixelweise optische Auslese.

3.5 AOM-PMD

Drittens wird für optische Signalwellen eine Vorrichtung analog zu 2.1 für Mikrowellen zur Durchführung des Verfahrens vorgeschlagen, bei der ein akustooptischer Modulator (AOM) die Modulationseinrichtung bildet, die z.B. durch eine stehende akustische Welle analog zur beispielhaft angegebenen Modulationseinrichtung der Empfangs- und Auswerteeinrichtung für Mikrowellen die Photonen abwechselnd auf die Fokuslinien der so entstehenden Gradientenlinsen projiziert. In den Fokuslinien sind in diesem Fall mindestens zwei entsprechend geformte Fotodiodenstreifen D_a und D_b angeordnet, die die Signalenergieanteile detektieren und als Ladungen auslesen. Die übrige Konstellation der Empfangseinrichtung eines solchen AOM-PMD ist unverändert und mehrfach beschrieben.

3.6 Piezo-PMD

Für optische Signalwellen wird eine Modulationsvorrichtung vorgeschlagen, bei der das elektrische, modulierende Feld der Ladungsschaukel zwischen den mindestens zwei Auslesedioden einer Halbleiter-PMD-Struktur durch eine vorzugsweise stehende akustische Welle in einem piezoelektrischen Halbleitermaterial erzeugt wird. Der Abstand der Auslesedioden entspricht dabei etwa der halben Wellenlänge

der akustooptischen Modulationswelle. In einem Ausführungsbeispiel regt die Modulationsspannung über einen Piezokristall die stehende Welle an, die über die Dichteschwankungen wiederum ein entsprechendes elektrisches Driftfeld zwischen den Ausleseelektroden erzeugt. Die übrige Konstellation der Empfangseinrichtung eines solchen Piezo-PMD in Fingerstruktur bleibt unverändert und ist mehrfach beschrieben.

Dieser Effekt kann zusätzlich durch von außen angelegte elektrische Modulationsfelder unterstützt werden.

3.7 Mikrospiegel-PMD

Fünftens wird als Wellenenergieschaukel für elektromagnetische Wellen vzw. im optischen Bereich ein Array von Mikrospiegeln vorgeschlagen, die bis in den MHz-Bereich vzw. elektrostatisch mit dem Modulationssignal geschaltet werden und die einfallende Signalwelle auf jeweils mindestens 2 Detektoren umschalten. Die Differenz dieser Detektorsignale stellt die gesuchte Korrelationsfunktion ΔS_{ab} dar.

3.8 Zeitaufgelöste PMD/USMD/MMD -Spektroskope

Wenn die modulierte optische Signalquelle Licht einer bestimmten Wellenlänge aussendet, wird nur die Reflektivität der beleuchteten Objekte bezüglich dieser Wellenlänge beleuchtungsselektiv gemessen. Diese Eigenschaft ermöglicht Anwendungen für spektroskopische Untersuchungen:

Wird die Signalquelle über einen weiten Wellenlängenbereich kontinuierlich oder schrittweise durchgestimmt, so erhält man die spektrale Reflektivität des Objektes als Punkt, Zeile oder Matrix in Abhängigkeit von der Wellenlänge.

Vzw. für den optischen Bereich ermöglicht eine erfindungsgemäße Ausführung zeitaufgelöste spektrale Messungen mit einem neuartigen **Zeitauflösenden Spektrometer**. Die Reflexion oder Transmission eines bestrahlten Objektes kann mit handelsüblichen Mikrospektrometern in der Intensität über der Wellenlänge aufgelöst werden. Eine mit UV-Licht bestrahlte Probe remittiert z.B. auch im längeren Wellenlängenbereich. Dieses Spektrum wird z.B. über ein Konkavgitter auf eine Fotodiodenzelle abgebildet und vermessen. Man erhält z.B. spezifische Spektrallinien, die die Probe kennzeichnen. Die zugehörigen Relaxationszeiten dieser angeregten Elektronenübergänge sind gleichermaßen von großem Interesse. Dazu wird erfindungsgemäß die Bestrahlungsquelle moduliert und die

Fotodiodenzeile durch eine erfindungsgemäße PMD-Zeile ersetzt, die mit dem entsprechenden Modulationssignal beaufschlagt wird. Eine solches Zeitauflösendes Mikrospektrometer ermöglicht schnelle und preiswerte Stoffanalysen und große Verbesserungen in der zeitaufgelösten Fluoreszenzspektroskopie.

3.9 Röntgen-PMD

In vielen Messaufgaben sind Informationen über die Struktur im Inneren von 3D-Objekten erwünscht. MCP-PMD-Kameras eignen sich besonders für eine optische Tomographie bei entsprechender Transparenz der Objekte. Röntgenstrahlen im Wellenlängenbereich von 0,02nm bis zu einigen 10nm sind praktisch immer einsetzbar. Eine geeignete Signalquelle SQ für Röntgenstrahlen kann erfindungsgemäß z.B. dadurch realisiert werden, dass der Kathodenstrahlstrom einer Röntgenröhre z.B. über die Intensitätssteuerung mit dem Modulationssignal moduliert wird. Damit ist auch die Röntgenstrahlung intensitätsmoduliert. Röntgendetektoren können nach mindestens einem der vorgeschlagenen Prinzipien zur Realisierung des demodulierenden Gegentakt-Schaukelprozesses ausgelegt werden, z.B. ein MCP-PMD mit geeignetem Photokathodenmaterial oder eine CCD-Röntgenkamera auf Cadmium-Tellurid-Basis, ausgeführt als . Der besondere Vorteil liegt in der zusätzlichen präzisen Messmöglichkeit der Signalwellenlaufzeiten, insbesondere auch der im Objekt ausgelösten Sekundärstrahlungen.

3.10 2D-PMD/USMD/MMD-Kamera

Durch Verwendung relativ niedriger Modulationsfrequenzen von z.B. einigen 10KHz bis zu wenigen MHz können die mit den erfindungsgemäßen optischen oder Ultraschall- oder Mikrowellen-Mischdetektoren ausgestatteten Empfangseinrichtungen (EM) annähernd im Maximum der Korrelationsfunktion der vorzugsweise gleichen Modulation der Signalquelle und des Modulationssignals betrieben werden. Die Laufzeiteffekte sind dann vernachlässigbar. Auf die Echolaufzeit- bzw. Phasenauswertung wird verzichtet und die entsprechenden Modulationseinrichtungen (MIX) werden einfacher und preisgünstiger aufgebaut. Der besondere Vorteil liegt in der MW-, US- und Licht-Bestrahlungsselektivität aufgrund der Korrelation, da nur die Signalquelle Gegentakt-Korrelationsergebnisse liefert. Aus Symmetriegründen wird der Offset- bzw. Gleichspannungs- oder Gleichstromsockel z.B. durch nicht korrelierte Hintergrund-Signalwellen mittels eines symmetrischen,

geregelten Offsetstromabzugs oder von vorn herein durch eine kapazitive Ladungsschaukel wie z. B. beim MSM(Metal-Semiconductor-Metal)-PMD an beiden Ausgängen der Energie- bzw. Ladungsschaukel (MIX) unterdrückt. Es werden nur die Beträge der aktiven Bestrahlung S_a und S_b bzw. nur die Intensität des 2D-Bildes ausgewertet.

Damit kann ein großes technisches Problem aus der Praxis gelöst werden. Erfindungsgemäße MW-, US- und Lichttaster, Reflex-, MW-, US- und Lichtschranken, Barcode-Leser und insbesondere 2D-PMD-Kameras, 2D-MMD-Kameras und 2D-USMD-Kameras messen nur die eigene aktive Bestrahlung, während die passive Hintergrundstrahlung, soweit sie mit dem verwendeten Modulationssignal bzw. mit der verwendeten Codierung nicht korreliert, nahezu vollständig unterdrückt wird.

Vielen **Kombinationen** der hier vorgestellten erfgem. Ausführungen des Verfahrens untereinander und mit verwandten Lösungen sind technisch und wirtschaftlich vorteilhaft, insbesondere .z.B. die Mischung von SM/ME-PMD-3D-Bildsensoren und CMOS-2D-Bildsensoren und die optische, pixelsynchrone Kombination über einen Teilspiegel einer hochauflösenden Farbbildkamera und einer 3D-PMD-Kamera mit optimierter spektraler Zuordnung des modulierten und unmodulierten Lichtes, und die Mischung des inkohärenten PMD-Messverfahrens mit kohärenten Messverfahren wie z.B. Speckle-Interferometrie sowie die pixelsynchrone Kombination von PMD-Laufzeitverfahren und Triangulationsverfahren zur 3D-Bildverarbeitung.

Die **Anwendungsbereiche** der vorstehend beschriebenen Mischdetektoren und insbesondere der neuartigen Photomischdetektoren ist nahezu unbegrenzt. Mit Hilfe jeweils geeigneter peripherer Komponenten kann eine Vielzahl vorteilhafter Anwendungen insbesondere in einer **Elektrooptischen-Multipliziererauslegung** als elektrooptischer Mischer, Demultiplexer, Schalter, Gatter, Phasendetektor und elektrooptisches variables Dämpfungsglied und insbesondere in einer **Korrelatorauslegung** als Demodulator, Korrelator, Sampler, Abwärtsmischer, Dekodierer, Lock-in-Verstärker, und insbesondere mit einer peripheren Komponente in Form einer geeignet modulierten optischen Signalquelle vor allem als

dreidimensional vermessende und digitalisierende Photo- und Videokamera, als 3D-Nachtsichtgerät, als Sicherheits-Lichtschranke bzw. Sicherheits-Radar mit einstellbarem Kontrollfenster bzw. Kontrollraum, als Optisches SAR (Synthetisches Apertur Radar)-Interferometer, wobei bei Letzterem gegenüber dem bekannten Mikrowellen-SAR Interferometer anstelle der Mikrowellenstrahlung modulierte optische Strahlung und anstelle der Mikrowellenkomponenten optische Komponenten eingesetzt werden, als lokales dreidimensionales Positionierungs- und Ortungssystem, als Autopilot für Fahrzeuge jeder Art, wobei ein Inertialsystem den Weltkoordinatenbezug der 3D-Bilder fortlaufend zu sichern hat, ferner als Außenraum- und Innenraum-3D-Sicherheitssensorsystem insbesondere für Fahrzeuge, weiterhin als Elektronisches 3D-Roboterauge, weiterhin in einer **Demultiplexerauslegung** als Signalweiche und Demultiplexer und in einer **Differenzmultipliziererauslegung** als Variables Dämpfungsglied, Elektrooptischer Schalter, Logisches Elektrooptisches Gatter, als kanalselektives Empfangselement nach den Prinzipien des Raummultiplex, des Codemultiplex, des Zeitmultiplex und des Frequenzmultiplex in der optischen Nachrichtenübertragung, als optisches Bussystem und als Elektrooptisches Vermittlungssystem z.B. mit einem Vielkanal-Raum- und Codemultiplexsignal eines LED- oder Laserdiodenarrays gegenüber einem gegenseitig optisch vollständig verbundenen PMD-Array mit wahlfreier PMD-Pixel-Decodierung (Fig. 28), als Räumlicher Elektrooptischer Lichtmodulator/Empfänger (sog. Spatial Light Modulator and Detector), als CDMA (Code-Division-Multiple Access)-Empfänger (Fig.28), als ein oder mehrere im Multiplexverfahren betriebene logische Empfangselemente in der optischen Schnittstelle einer sogenannten Chipkarte und in hochparallelen optischen Schnittstellen sogenannter Optischen Computer.

Die vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Halbleiter-Photodiodenstrukturen mit ME/SM- und MSM- und APD-Strukturen mit wahlweise zugeordneten Modulationselektroden ME Strukturen weisen insbesondere die im folgenden aufgezählten Vorteile gegenüber dem Stand der Technik auf.

1. Die optische Dämpfung des Lichtsignals durch die modulierenden Photogates der bekannten PMD-Strukturen entfällt vollständig. Die Modulationselektroden bilden zugleich den erforderlichen Lichtschutz für die Ausleseelektroden und können als Metallelektroden höchste Modulationsfrequenzen übertragen.

2. Die Halbleiterstruktur ist wesentlich vereinfacht und erfordert weniger Prozessschritte zur Herstellung.
3. Da zwischen den gegenläufig modulierten Elektroden (z.B. A_1, A_2 und ME_1, ME_2) keine weiteren Strukturen erforderlich sind, können die Elektrodenabstände und damit die Laufzeiten der Photoladungen entscheidend verringert werden.
4. Das Modulationsfeld wirkt unmittelbar in Richtung des gewünschten Photoladungstransportes. Dadurch ergibt sich eine effektivere Nutzung der Modulationsspannung mit dem Effekt der Erhöhung der Driftgeschwindigkeit und entsprechend höherer Modulationsbandbreite oder mit der Möglichkeit, die Modulationsleistung wesentlich zu verringern.
5. Durch den gemeinsamen Substrat-Masse-Kontakt mit optimal einstellbarer Sperrspannung werden die am Mischprozess nicht beteiligten Ladungsträger ohne Bandbreiteneinfluss resorbiert oder sie werden in den Mischprozess einbezogen.
6. Die Sperrspannung der Photodioden unterstützt den Ladungstransport für größere Eindringtiefen des Lichtsignals wesentlich, da sie bis zum Erreichen der Sättigungsfeldstärke und bis zur erforderlichen Ausdehnung der Raumladungszone einstellbar ist und so den Ladungstransport aus der Tiefe des photosensitiven Halbleitermaterials wesentlich beschleunigt. Hierdurch sind Bandbreiten erreichbar, die denen üblicher PIN-Photodioden entsprechen. Auf diese Weise eignet sich das erfindungsgemäße SM/ME-PMD auch für große Absorptionslängen.
7. Die Photodiodenstruktur des SM-PMD ist besonders vorteilhaft für geringe Eindringtiefen bzw. Absorptionslängen des Lichtsignals. Bei Absorptionslängen im 1-10µm-Bereich und bei einer Streifenstruktur mit z.B. einer Gitterkonstanten von 5-20µm und Elektrodenbreiten von 1-5µm werden Modulationsbandbreiten von mehreren GHz erwartet.
8. Die planare Streifenstruktur ist in verschiedenen Technologien und Halbleitermaterialien nahezu unabhängig von der Pixelgröße durch die Streifenbreite und jeweilige Fingerlänge flexibel an die gestellten PMD-Anforderungen anpassbar.
9. Für den Spektralbereich von ca. 4...7 µm sowie 8...12 µm kann z.B. mit relativ hoher Quantenausbeute und hinreichender Schnelligkeit von ca. 100MHz ein erfindungsgemäßes gekühltes SM/ME-PMD in InSb (Indium-Antimonid) sowie in HgCdTe-Technologie und damit eine entsprechend augensichere 3D-Kamera für höchste Frequenzen realisiert werden, die Nebel teilweise durchdringt.

10. Die beschriebene SM/ME-PMD-Struktur ist vorteilhaft für eine Ausführung mit Ladungsträgermultiplikation (Avalanche Effekt) durch eine Hochfeldzone geeignet.

11. Der Aufwand zur spektralen Signaltrennung von Modulationssignal und Photostromsignal bzw. elektrischem Lichtsignal mit Hilfe der Koppelnetzwerke und der Auslesenetzwerke muss jeweils nur einmal je Anoden- bzw. Kathodengruppe eines SM/ME-PMD-Pixels durchgeführt werden und kann vorzugsweise als Leitungskapazität einer von der Metallisierung der Anoden bzw. Kathoden (A_1 , A_2 bzw. K_1 , K_2) und der Modulationszuleitung gebildeten Streifenleitung ausgebildet werden..

12. Gegenüber den heute üblichen Laufzeitdetektoren in kommerziellen Geräten, z.B. in Distanzmessgeräten DME und den Laser-Scannern LMS der Fa. Sick AG in 79177 Waldkirch, mit breitbandiger Detektion, breitbandiger Verstärkung und anschließender elektronischer Mischung weist der erfindungsgemäße PMD einen weiteren Geschwindigkeitsvorteil auf: Die Totlaufzeiten von Photoladungsträgern gehen nur teilweise in die Modulationsbandbreite ein, und die RC-Zeitkonstante mit der zusätzlichen Koppelkapazität des Modulationsnetzwerkes geht nicht ein, da beim Auslesen der Photoströme der Mischprozess bereits abgeschlossen ist.

13. Der beschriebene Doppel-ME/SMPMD in Fig. 8 weist durch die gegenüberliegenden Anoden und Kathoden die Struktur von mindestens zwei und vorzugsweise einer Vielzahl von parallel angeordneten PIN-Dioden auf, die vorzugsweise in drei verschiedenen Arten betrieben werden kann (In Fig. 8 sind die Modulationselektroden nicht ausgeführt):

- a) Die gegenüberliegenden PMDs werden unabhängig , d.h. mit zwei unterschiedlichen, vorzugsweise Gegentakt-Modulationssignalen moduliert, wodurch der PIN-PMD eine doppelte PMD-Funktion, d.h. eine doppelte Gegentaktmischung durchführt.. Die beiden Mischprozesse beeinflussen sich dann nicht, wenn beide Gegentakt-Modulationssignale orthogonal sind. Sie beeinflussen sich trotz fehlender Signal-Orthogonalität auch dann nicht, wenn die Anordnung der gegenüberliegenden Elektroden orthogonal ist, wie im Ausführungsbeispiel (14) in Fig. 8 gezeigt. In diesem Fall kann erfindungsgemäß eine spektrale Trennung unterschiedlicher eingestrahelter Lichtsignale dadurch erzielt werden, dass auf der lichtzugewandten Seite das z.B. vornehmlich blaue Lichtsignal mit typisch geringerer Absorptionslänge mit nahe der Oberfläche die „blaue“ Photoladung erzeugt, während z.B. das

vornehmlich rote Lichtsignal mit typisch längerer Absorptionslänge tiefer eindringt und vornehmlich, vorzugsweise unterstützt durch eine Reflexionsschicht, auf der lichtabgewandten Seite der Halbleiterstruktur die „rote“ Photoladung erzeugt. Der doppelseitige planare Aufbau kann auch vorteilhaft zur zweiseitigen Einkopplung von Lichtsignalen genutzt werden.

In weiteren Ausgestaltungen wird die vorliegende Erfindung als optoelektronisch integrierter PMD-Schaltkreis (OEIC) ausgeführt, insbesondere als digitale und analoge Phasenregelkreise (PMD – PLL Fig. 21, 22) und deren Einsatz in der freien und leitungsgebundenen optischen Kommunikation, Nachrichtentechnik, Signalverarbeitung und Messtechnik.

Die SM/ME-PMD- oder MSM-PMD-Schaltung mit DC-Auslese und Kapaz. Modulationseinkopplung kann als Sampler für Tiefenbilder dienen.: Die Lichtquelle $P_{\text{opt}}(t)$ und die Modulationsquelle - hier Samplungsquelle $u_m(t-T_D)$ - ist von etwa gleicher Nadelimpulsform. Nur bei gleicher Echo-Laufzeit $T_{\text{echo}} = T_D$ sieht der Tiefenbildsampler beleuchtete Objekte. Damit ist jeweils deren Laufzeit bzw. Abstand festgestellt. Durch kontinuierliches Ändern der Verzögerungszeit T_D wird das ganze Tiefenbild mit allen parallel beleuchteten Pixeln in der Tiefe abgescannt. Die Empfindlichkeit kann durch die Scangeschwindigkeit bestimmt werden. Wenn die gleiche Tiefe immer wieder abgetastet wird, kann entsprechend lange der Photostrom je Pixel integriert werden. Das SM-Schottky-PMD-Array könnte ähnlich wie ein Samplingoszilloskop mit bis zu Millionen optischen Samplern anstatt mit 1 - 2 Kanälen oder elektr. Samplern betrieben werden. Elektrisch werden heute mit Schottky-Dioden Abtastzeiten von ca. 5ps erreicht. Optisch käme man nahezu in den gleichen Bereich, d.h. über 50 GHz-Bandbreite.

Der gleiche Sampler kann wie im Netzwerkanalysator als Harmonischer Mischer Oberwellen generieren, die μW -Signale aus dem gleichen Frequenzbereich von über 50 GHz heruntermischen und Phase u. Amplitude messbar machen.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann der SM-PMD, insbesondere als Schottky-SM-PMD, als quasioptisches, vorzugsweise binäres Schaltelement

ausgelegt werden, z.B. in der Vermittlungstechnik, das hierzu von den Vermittlungsinformationen asynchron zu modulieren ist in lokalen faseroptischen Netzen insbesondere auf CDMA (Code Division Multiple Access)-Basis, in sog. Intelligenten optischen Lichtschranken sowie allgemein in allen elektrooptischen digitalen und analogen Phasenregelkreisen (PLL, insbesondere zu vereinfachten Taktrückgewinnung) und Decodierern wesentlich erweitert, wobei ein erfindungsgemäßer mikrooptischer PLL und mikrooptischer Decodierer für optische Nachrichtensignale vorteilhaft als OEIC (Opto-Elektronisch-Integrierter Schaltkreis) integrierbar ist.

Figur 1 das Grundprinzip der direkten Gegentakt-Mischung der Signalwelle bzw. der von der Signalwelle im Wandler (UMW) abgeleiteten Teilchen auf mindestens zwei Ausgänge mit der zugehörigen Auslese und Auswertung der Differenzen, Summen und Beträge zur 3D-Bildauswertung.

Figur 2 einen Schnitt durch einen Teil eines erfindungsgemäßen planaren Photomischdetektors mit Kathodenauslese der Photoelektronen, mit Modulationselektroden ME als Abschirmung der Auslesedioden, mit einer 2-Phasenmischung (0, 90° bzw. I/Q) und mit einer allgemeinen Mindestbeschaltung,

Figur 3 einen Schnitt durch einen Teil eines erfindungsgemäßen planaren Photomischdetektors nach Fig. 2 mit einer beispielhaften Ausführung der Ausleseschaltung und einer zusätzlichen, geregelten Kompensation unkorrelierter symmetrischer Photoströme.

Figur 4 einen Schnitt durch einen Teil eines erfindungsgemäßen planaren Photomischdetektors in Schottkydioden-Technik mit Anodenmodulation und -auslese und mit einer vorteilhaften Schaltung für den Betrieb als Korrelator usw.,

Fig. 4a das Ersatzbild der MSM-Schottkydiodenstruktur bzgl. der Klemmen A₁' und A₂'

Figur 5 die Aufsicht des Photomischdetektors nach Fig. 4 einschließlich einer vorteilhaften Beschaltung für vorzugsweise Korrelatoranwendungen.

Figur 6 einen planaren Avalanche-Photomischdetektor, dargestellt im Querschnitt von streifenförmigen oder halbkugelförmigen Auslesedioden mit Lawineneffekt-Hochfeldzone.

Figur 8 eine zweiseitige orthogonale Streifenstruktur für 4Phasen-PMD-Betrieb (Modulationselektroden ME1 bis ME4 nicht ausgeführt).

Figur 9 ein Photomischdetektor-Phasenregelkreis (PLL) insbesondere mit CDMA-Taktrückgewinnung

Figur 18 eine 3D-Kamera auf PMD-Basis mit aktiver modulierter Lichtsignalquelle und optischer Referenz.

Figur 19 eine Vakuum-PMD Struktur, gitterartige zusätzlich Modulationselektroden ME sind nicht ausgeführt.

Figur 20 ein MCP-PMD, ein Vakuum-PMD mit nachgeschalteter Mikrokanalplatten-Verstärkung

Figur 22 das Blockschaltbild einer SM-PMD-Kamera mit PN-Modulation der Signalwelle und DPN-Demodulation über jeweils Modulationselektroden MEa und MEb, hier mit am und bm bezeichnet, mit leicht unterschiedlichen Modulationsfrequenzen sowie mit gemeinsamer Referenzierung aller Zielpixel durch ein Referenzsignal.

Fig. 24 das Blockschaltbild eines Ultraschall(US)-PMD-Pixels in einer 3D-Messvorrichtung mit Umwandler UMW, der Mischvorrichtung MIX (z.B. als 1- 4- Quadranten-Multiplizierer), der Auslese, Auswertung und Systemsteuerung SST und einer Signalquelle SQ.

Fig. 25 ein Ausführungsbeispiel von Block MIX + AUSL in Fig. 24 als 1- Quadranten-Multiplizierer in CMOS-Technologie.

Fig. 26 ein Blockschaltbild eines Mikrowellen-Misch-Detektor(MMD)-Pixels in einer 3D-Messvorrichtung mit einer μ W-Patchantenne als UMW, einer Schottkydiodenstruktur als MIX und AUSL, AUS, SST, der Signalquelle SQ und je einem Phasenschaltglied des Trägersignals und des Modulationssignals.

Fig. 27 die zum Betrieb des MMD-Pixels mit Mischverstärkung in Fig. 26 wichtigsten Signale.

Fig. 28 ein Blockschaltbild einer optischen Schnittstelle für Vermittlung, Routing usw. mit einem Laserdiodenarray als Sender und einem zugeordneten PMD-Array als CDMA-Empfänger.

Patentansprüche

- 1. Verfahren zur Erfassung und zur Verarbeitung der Amplitude und Phase von Signalwellen, insbesondere von elektromagnetischen Wellen im gesamten Bereich von den Mikrowellen über die Wärmestrahlung bis zur Gamma-Strahlung (X-Rays), weiterhin von akustischen Wellen bzw. Ultraschallwellen sowie von sonstigen ladungsträger-generierenden Strahlungssignalen (im folgenden kurz als "Signalwellen" und je nach Anwendung auch als akustische, optische, elektromagnetische Signalwellen oder Mikrowellen bezeichnet), wobei eine modulierte Signalquelle SQ Signalwellen erzeugt, die auf ihrem Weg durch ein Übertragungsmedium bzw. Objekt oder durch Reflexion und Streuung an mindestens einem Objekt verändert werden, die von einer Empfangseinrichtung EM empfangen und dort mit einem Modulationssignal 15, das in einer Beziehung zu der Modulation der Signalwelle steht, demoduliert und bezüglich der Amplitude der modulierten Signalwelle und der Phasenbeziehung der Modulationsphase der Signalwelle und des Modulationssignals 15 vermessen und ausgewertet wird, bei dem die Demodulation der modulierten Signalwelle nicht wie üblich nach einer Umwandlung der hochfrequenten Signalwelle in einen entsprechenden Strom mit anschließender Verstärkung und elektrisch-elektrischer Mischung und Korrelation durchgeführt wird, sondern bei dem die einfallende Signalwelle durch eine geeignete Mischvorrichtung (MIX) direkt demoduliert wird und somit nur das informationstragende demodulierte Signal und nicht der Träger der modulierten Signalwelle zu verarbeiten ist, wobei diese Mischvorrichtung die Signalwellenenergie bzw. ihre Wellenenergieteilchen oder solche diese Wellenenergieteilchen unmittelbar repräsentierenden Teilchen aufgrund einer Umwandlung durch einen vorgeordneten Wandler (UMW), z.B. einer quantenoptischen Umwandlung von Photonen in angeregte Photoelektronen bzw. Löcher, die für die Demodulation der optischen Signalwelle die einfallenden Photonen repräsentieren, in einem Gegentakt-Schaukelprozess mit einer Wellenenergieschaukel bzw. Ladungsschaukel im Rhythmus und nach Maßgabe eines vzw. digitalen Modulationssignals auf mindestens zwei Detektions- bzw. Auslese-Ausgänge als Mischprodukte verteilt und einer Detektions- und Ausleseeinheit (AUSL) zuführt, wobei dieser Schaukelprozeß im Falle der**

Umwandlung von Photonen in zugehörige Ladungsträger durch eine neuartige Ladungsschaukel in vorteilhafter Weise die Nachteile beim Einsatz der bekannten Modulationsphotogates zum Betreiben einer Photoladungsschaukel vollständig umgeht, wobei diese mindestens zwei Ausgangssignale s_a und s_b in einer nachgeschalteten Auswerteeinheit (AUSW) bezüglich der Differenz und der Summe dieser Ausgangssignale ausgewertet und anwendungsspezifisch weiterverarbeitet werden, wobei über einen bekannten Kanal ein Teil der Signalquellenenergie der Empfangseinrichtung direkt als Referenz-Signalwelle zugeführt wird, und wobei diese Signalwellen vorzugsweise als optische Signalwellen oder akustische Signalwellen oder Mikrowellen oder Röntgenstrahlen mit entsprechender physikalischer Auslegung der Signalquelle, der Modulationseinrichtung und der Detektions- und Ausleseeinrichtung ausgeführt sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

bei dem die unterschiedlichen Eigenschaften der Mischprodukte des Gegentakt-Schaukelprozesses in der Mischvorrichtung MIX für korrelierte Signalwellen, s_a und s_b ungerade, und für nichtkorrelierte Signalwellen, s_a und s_b gerade, zur Trennung und vzw. zur Unterdrückung einer störenden nichtkorrelierten Hintergrundstrahlung genutzt werden.

3 Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswahl des zu nutzenden Mischproduktes durch die konstante oder variable oder adaptiv dem Lichtsignal angepaßte Einstellung der vorzugsweise gleichen spektralen Übertragungsbereiche der Auslesenetzwerke erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Modulationssignale und die dem Photostrom entsprechenden Auslesesignale dadurch getrennt werden, daß der Spektralbereich der Modulationssignale hinreichend weit von dem des gewünschten Mischproduktes entfernt liegt, und daß der Übertragungsbereich der Auslesenetzwerke dem gewünschten Mischprodukt von Lichtsignal und Modulationssignal angepaßt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die spezifische Eigenschaft des Photomischdetektors insbesondere als Korrelator oder als elektrooptischer Schalter durch entsprechende Auslegung der Kombination von Auslesenetzwerk und Koppelnetzwerk einstellbar ist,

6 Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Photoströme (i_1 , i_2) oder die entsprechenden Photoladungen $q_1=i_1T$ und $q_2=i_2T$ (aufgrund der Kurzzeitintegration über der Zeit T) über die Auslesenetzwerke AN_1 und AN_2 an mindestens eine Verarbeitungseinheit gegeben werden, im Fall der Korrelationsanwendung vorzugsweise an eine Auswerteschaltung (AS), in der die zugehörigen Spannungen u_1 und u_2 und insbesondere die Differenzspannung $u_\Delta=u_1-u_2$ und die Summenspannung $u_\Sigma=u_1+u_2$ ermittelt und als Basisband Mischprodukte ausgegeben werden und im Fall der Anwendung als EO(Elektrooptischer)-Schalter und Demultiplexer an relativ breitbandige, an die Bandbreite des Lichtsignals angepaßte Auslesenetzwerke und Verarbeitungseinheiten weitergeleitet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenzspannung u_Δ für modulierte und für unmodulierte Lichtsignale durch Variation der Amplitude u_m von $-u_m$ bis $+u_m$ der vorzugsweise Gegentakt-Modulationsspannung zwischen -100% und $+100\%$ der Modulationskennlinie für u_Δ einstellbar ist und vorzugsweise in der Auswertung auf die von der Variation unbeeinflusste Summenspannung u_Σ bezogen wird.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der SM-PMD mit Katodenmodulation und -auslese (1) und/oder mit Anodenmodulation und -auslese (2, 19) in Verbindung mit einer ersten elektrischen Zusammenschaltung peripherer Komponenten (31) für die Korrelation des einfallenden Lichtsignals mit den beiden Modulationsspannungen $u_{m1}(t)$ und $u_{m2}(t)$ einen Korrelator bildet, und vorzugsweise in einer Ausführung der beiden Modulationsspannungen als Gegentakt-Modulationsspannung $\pm u_m(t)$ einen Gegentaktkorrelator bildet, wobei das Korrelationsergebnis vorzugsweise als Ausgangsspannung u_Δ der ersten elektrischen Zusammenschaltung peripherer Komponenten (31) abgreifbar ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere SM-PMD mit Kathodenmodulation und -auslese (1) und/oder mit Anodenmodulation und -auslese (2, 4, 19) in Verbindung mit einer zweiten elektrischen Zusammenschaltung peripherer Komponenten einen oder mehrere Elektrooptischer Schalter, Signalweichen, Demultiplexer, Multiplizierer, Logische Elektrooptische Gatter usw. darstellen, die das einfallende Lichtsignal über die beiden Modulationsspannungen $u_{m1}(t)$ und $u_{m2}(t)$ wahlweise auf einen der mindestens zwei Ausleseelektroden schaltbar ist bildet.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweils für den Mischprozeß erforderlichen Merkmale des selbstmischenden Photomischdetektors mit Kathodenmodulation und -auslese und des selbstmischenden Photomischdetektors mit Anodenmodulation und -auslese in einem doppeltmischenden Photomischdetektor (14) vereinigt sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet daß, die in einem optischen Kommunikationsnetz auf Leiterbasis oder im Freiraum eine Sende/Empfangsstationen mindestens ein oder mehrere PMD-Pixel mit vorzugsweise unterschiedlicher Modulation enthält, wobei ein oder mehrere Lichtsignale, die aufgrund unterschiedlicher Modulation z.B. im Frequenz-, Code- und Zeitmultiplex ein oder mehreren Kommunikationskanälen entsprechen, jeweils entsprechend einer wählbaren PMD-Modulation ausgewählt und empfangen werden, wobei die ein oder mehreren PMD-Pixel vorzugsweise in einen analogen oder digitalen Phasenregelkreis vorzugsweise im gleichen Halbleiterschaltkreis integriert eingebunden sind.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Lichtsignal über einen oder mehrere Lichtwellenleiter in ein oder mehrere Photomischdetektoren eingekoppelt wird.

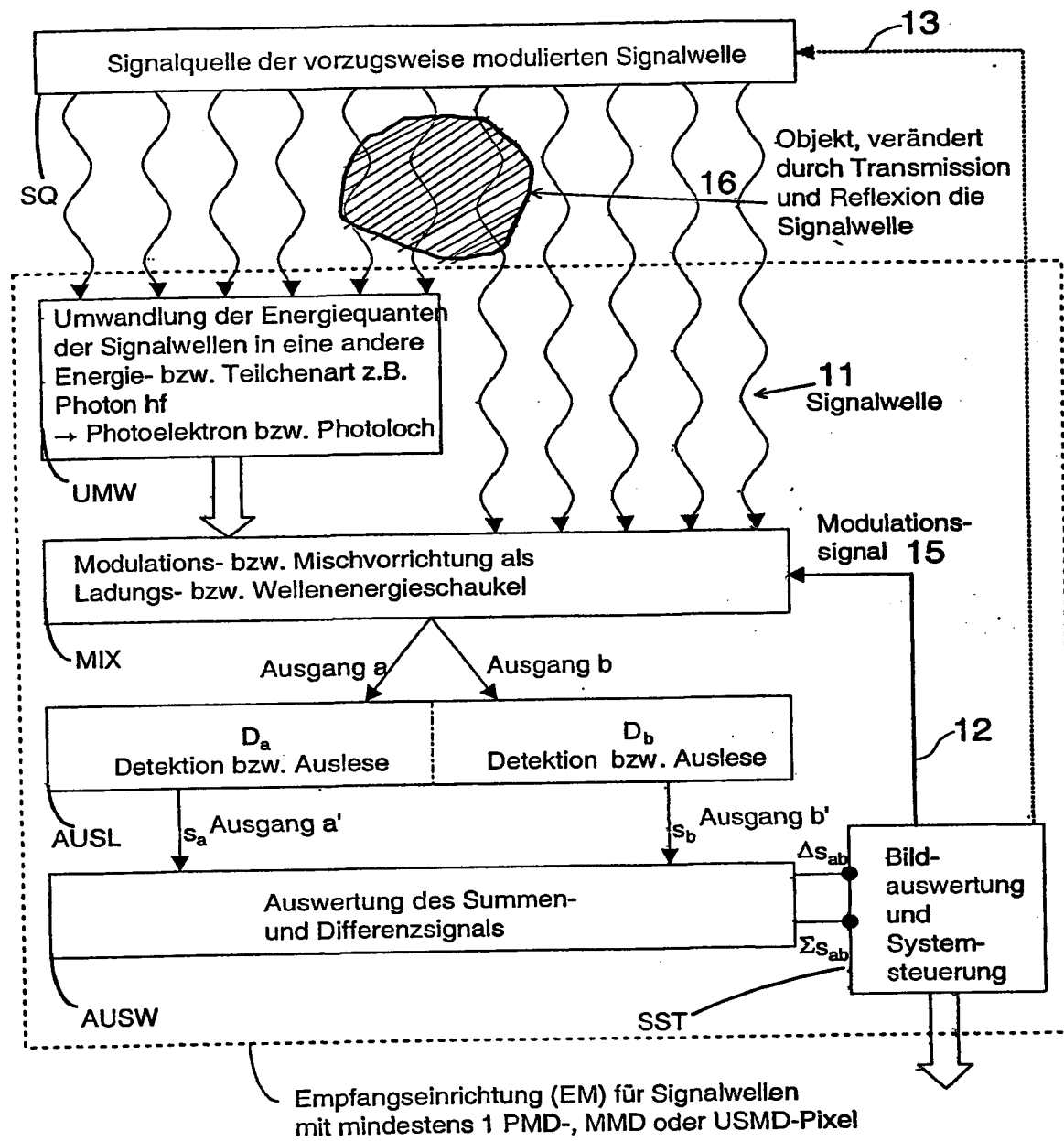


Fig. 1

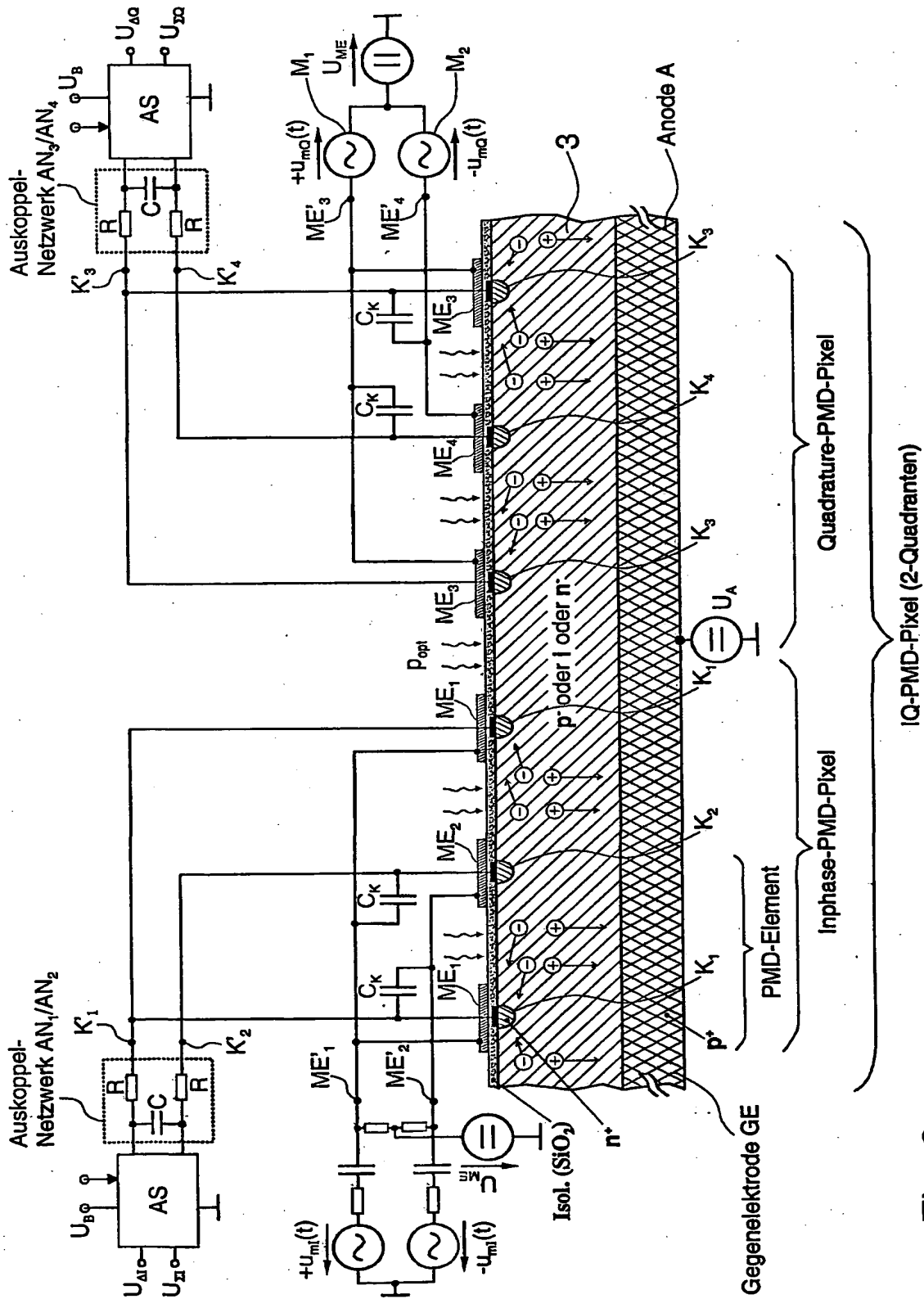


Fig. 2

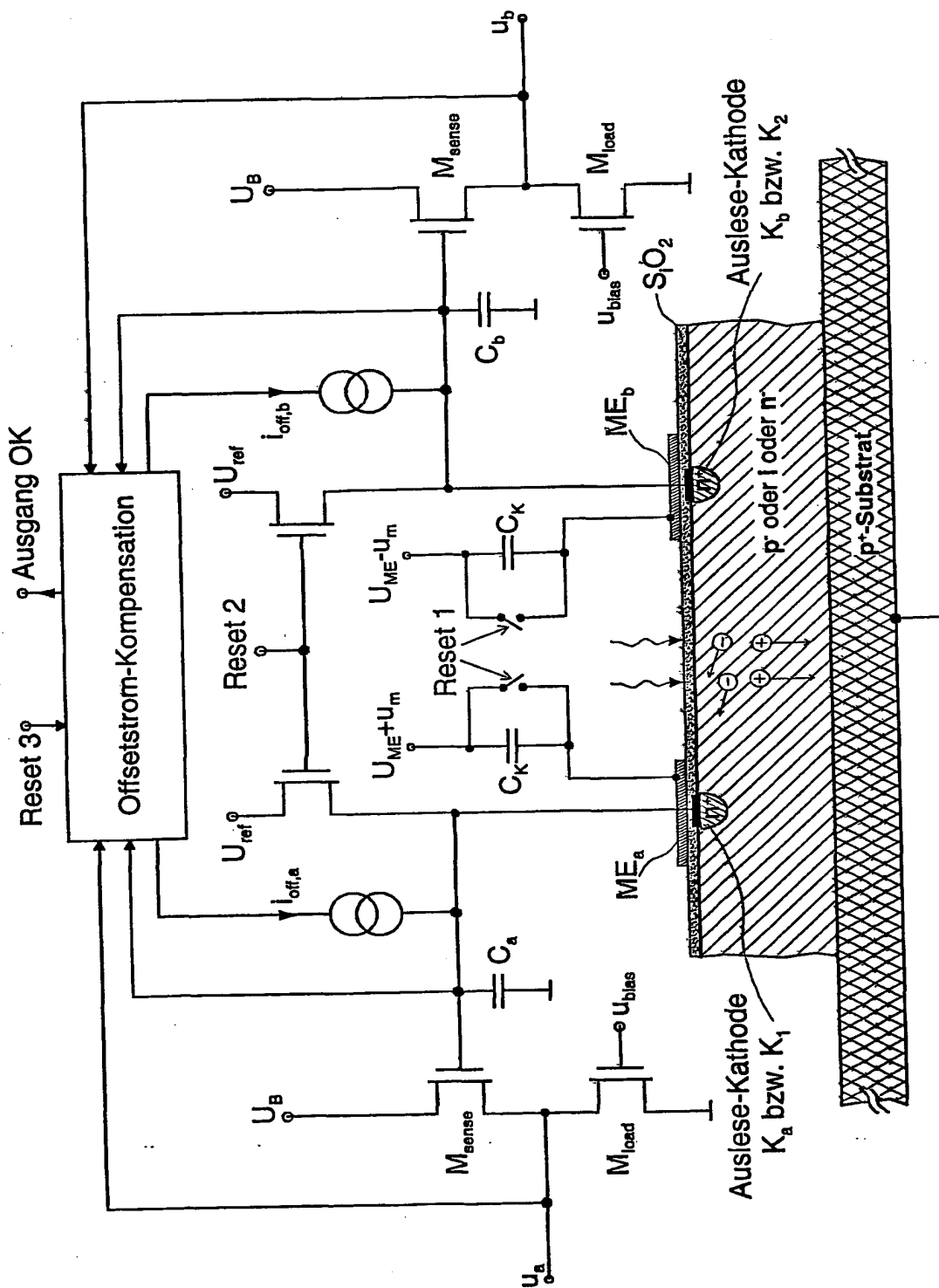
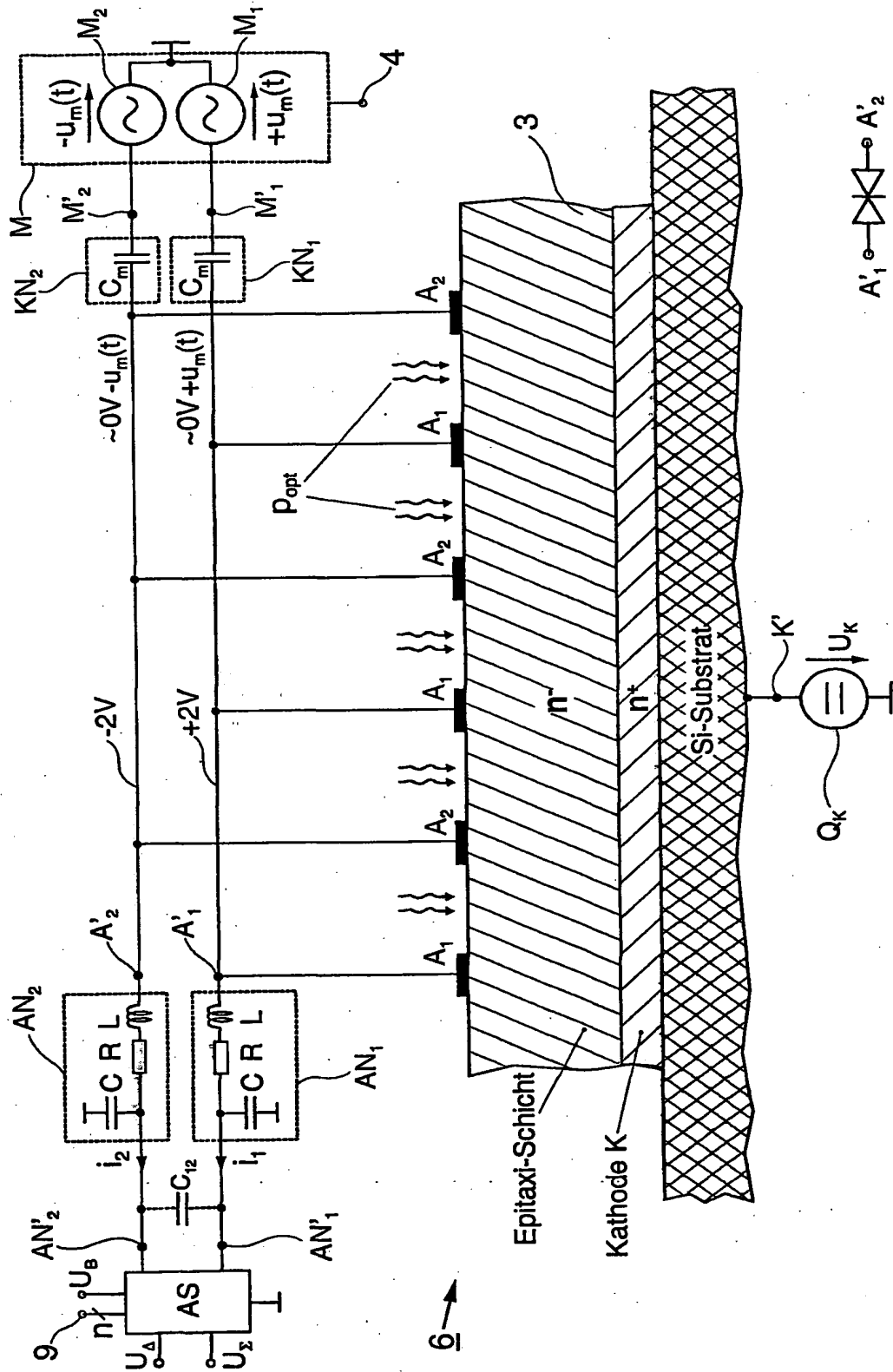


Fig. 3



$A'_1 \rightarrow A'_2$

Fig. 4a

Fig. 4

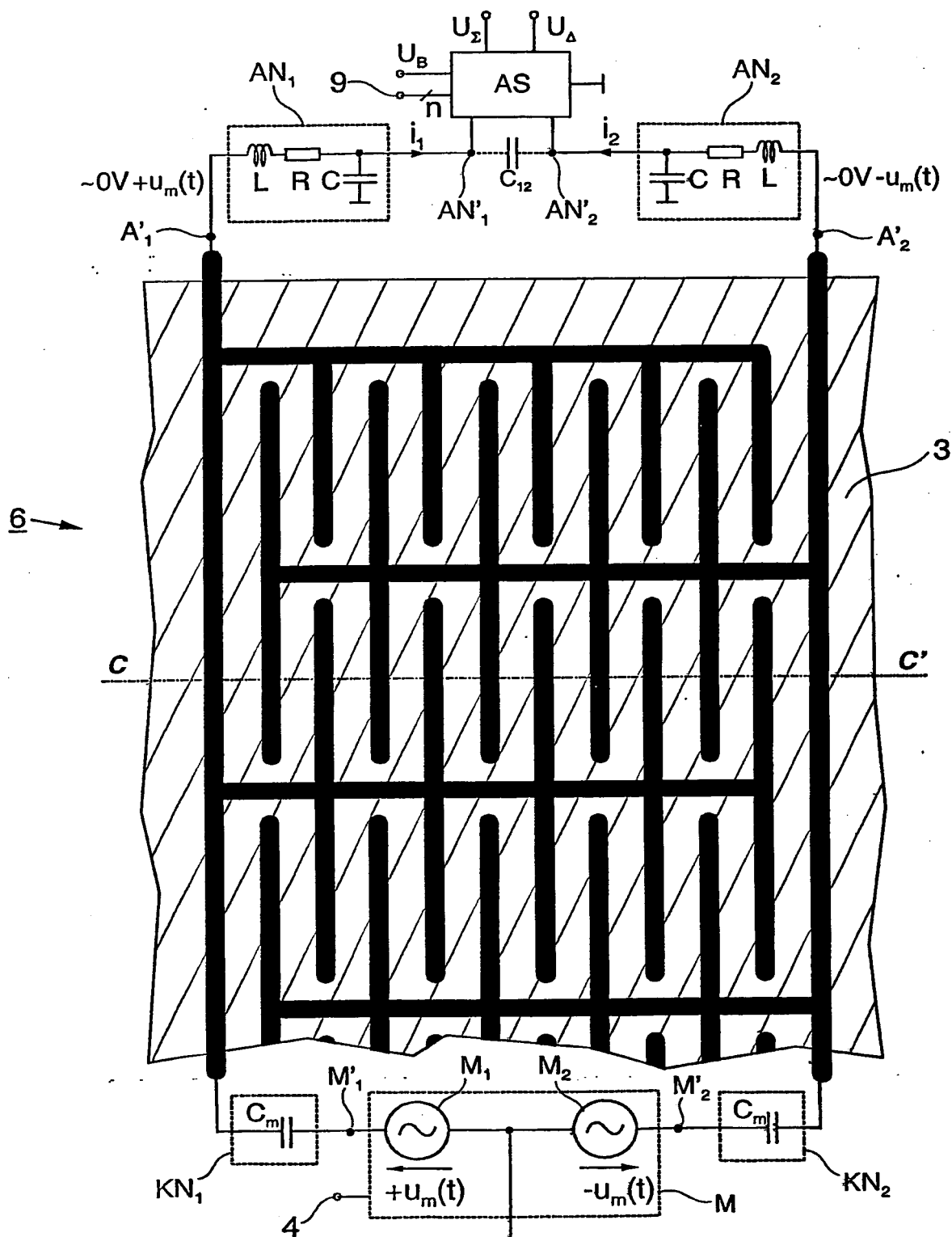


Fig. 5

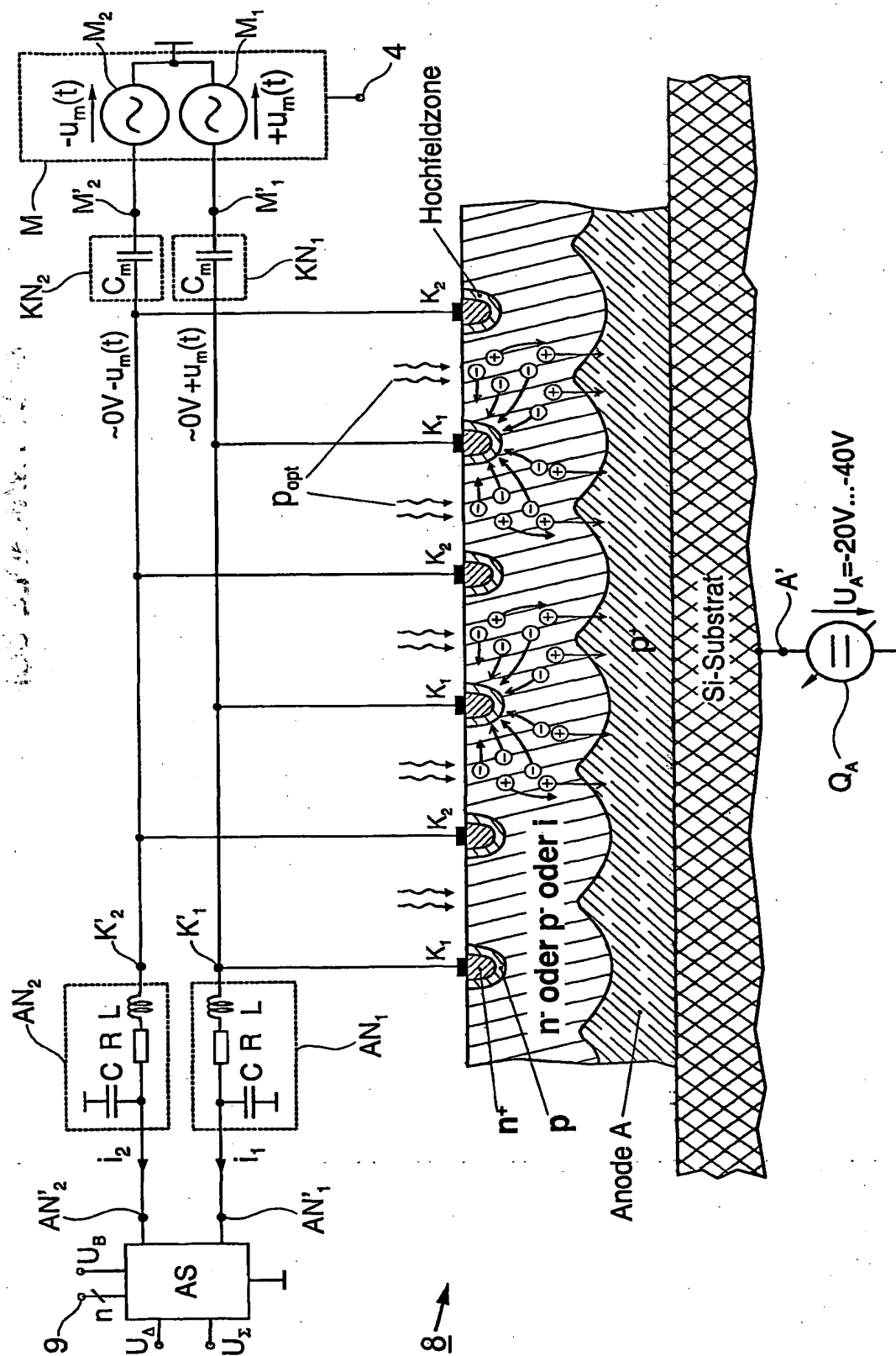


Fig. 6

BEST AVAILABLE COPY

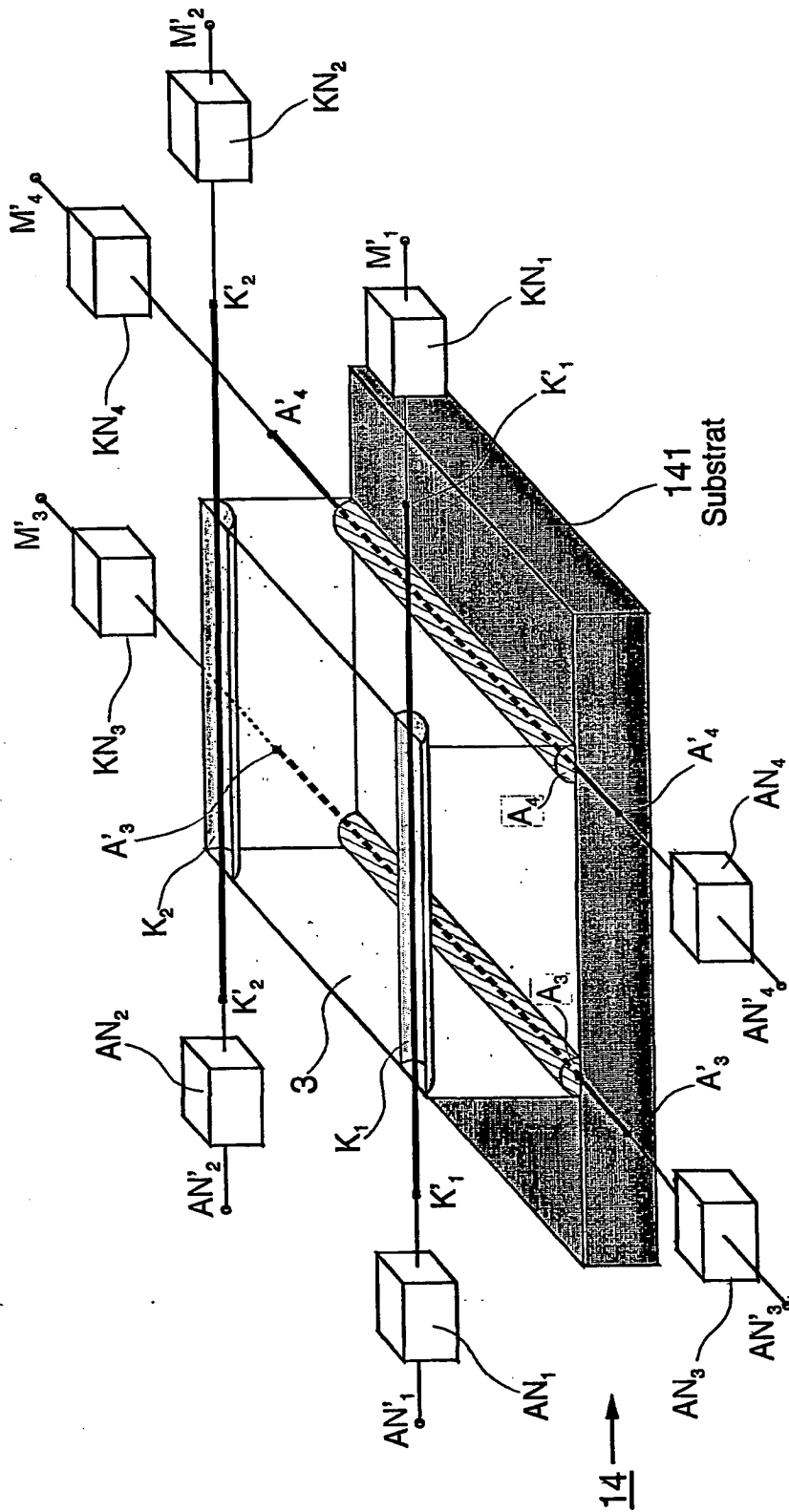


Fig. 8

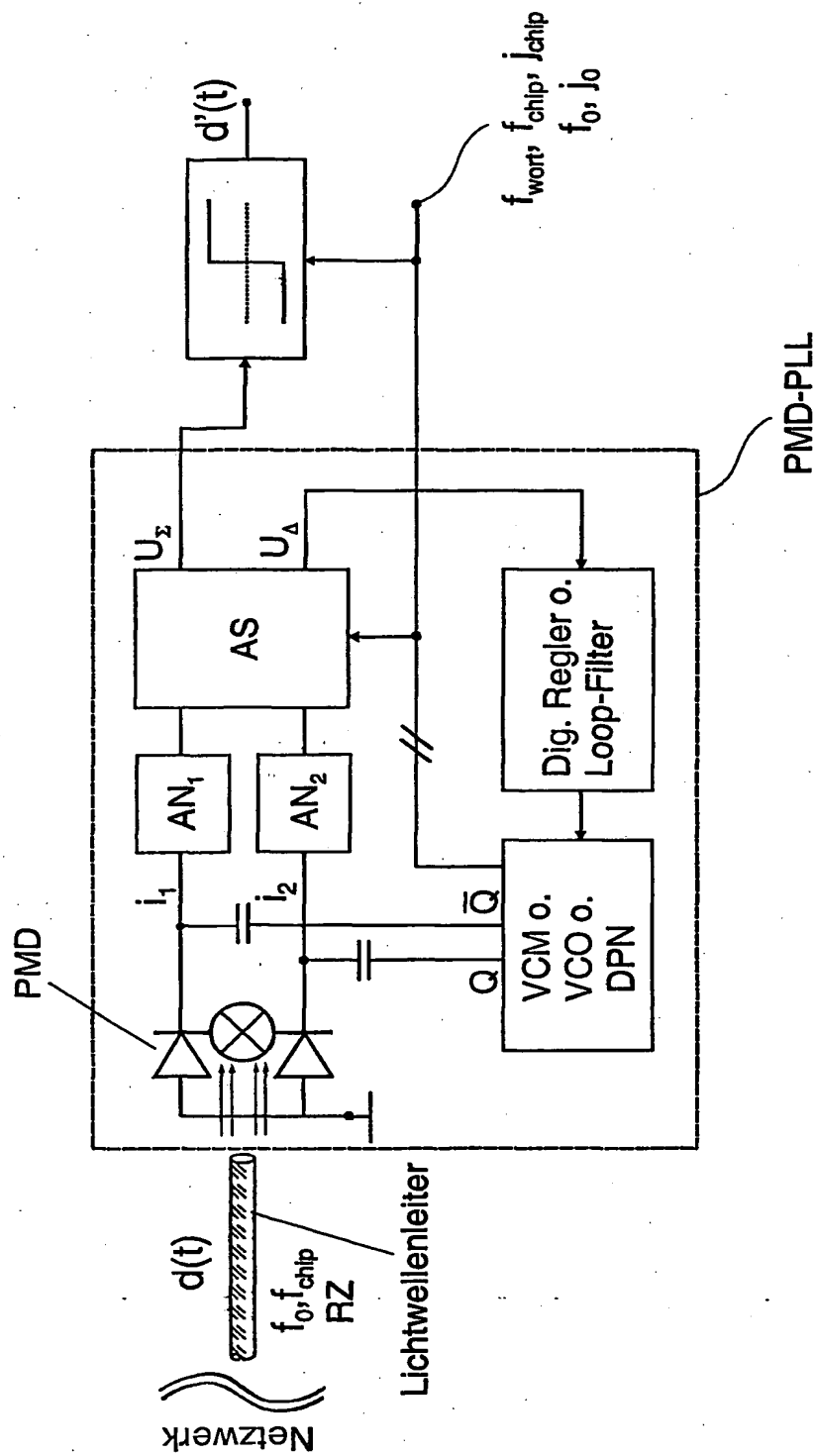
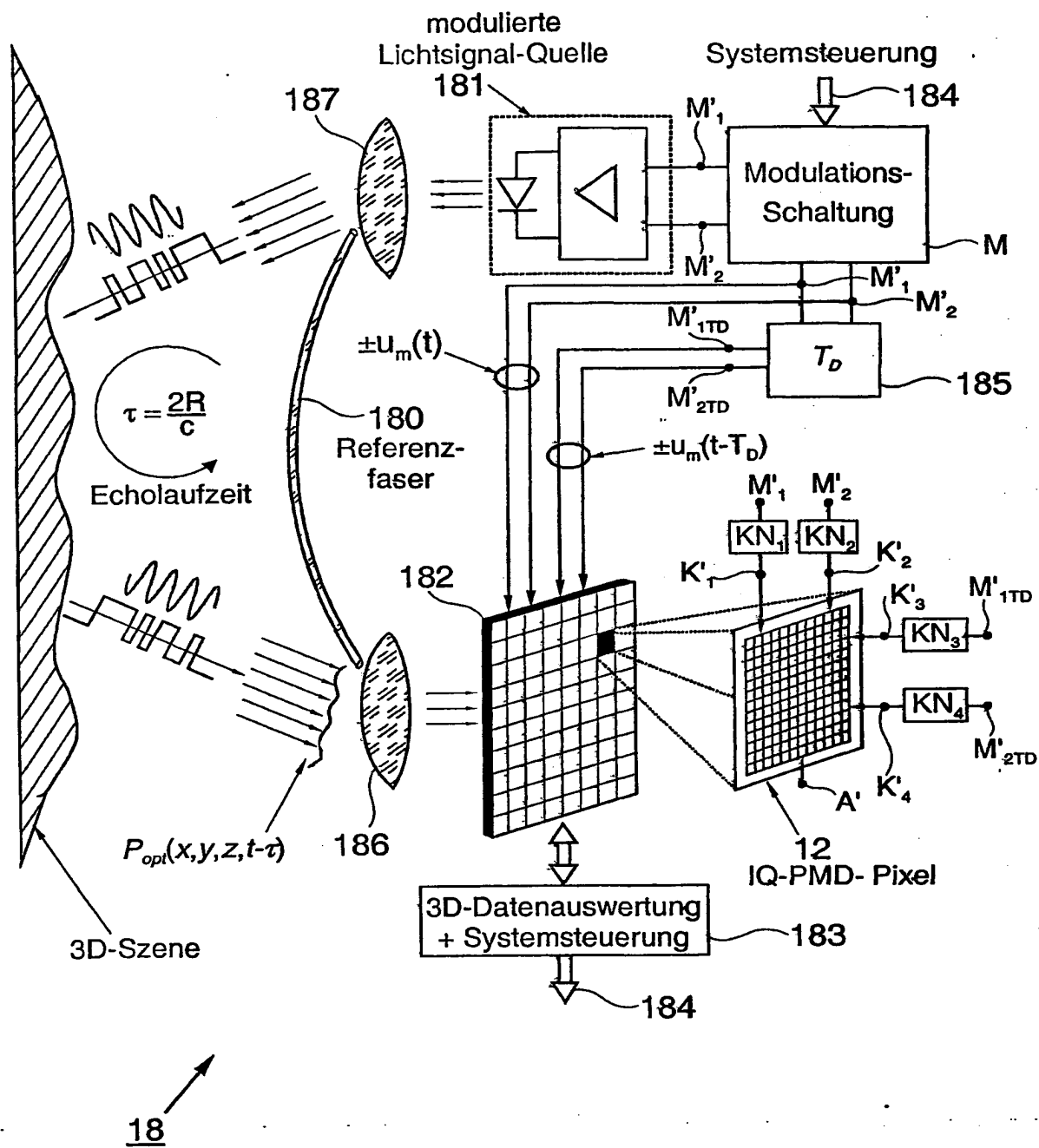


Fig. 9



BEST AVAILABLE COPY

Fig. 18

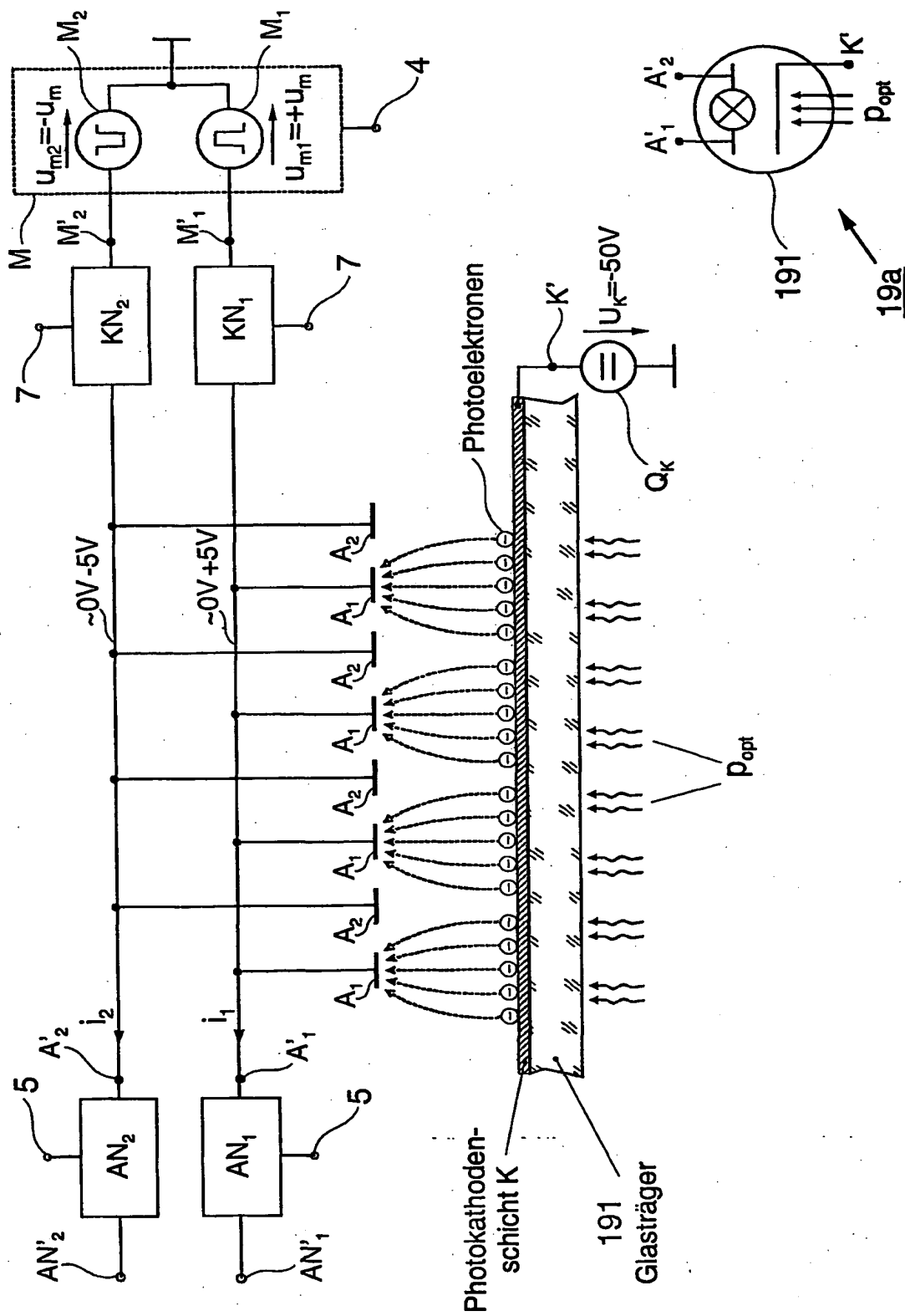


Fig. 19

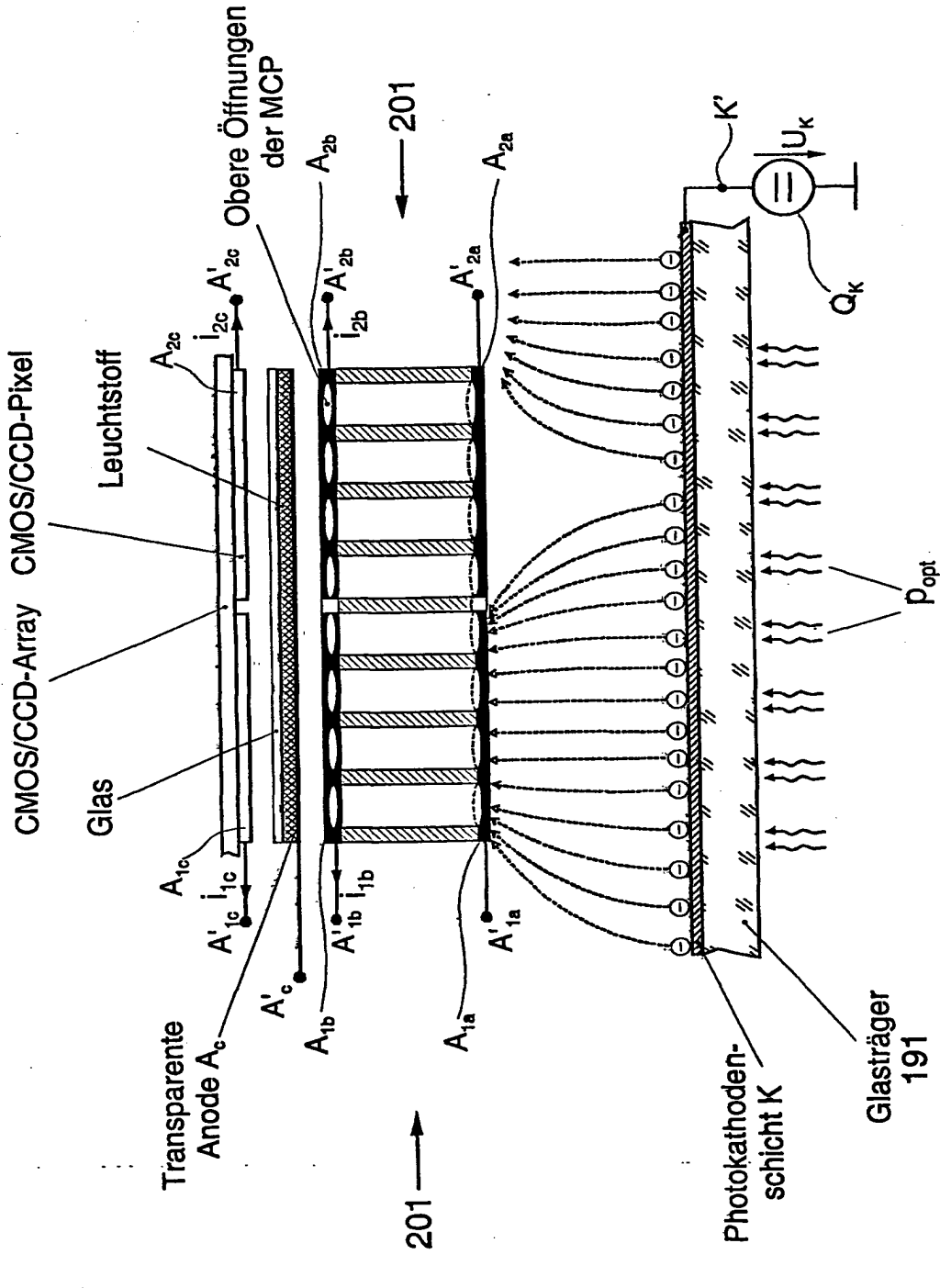


Fig. 20

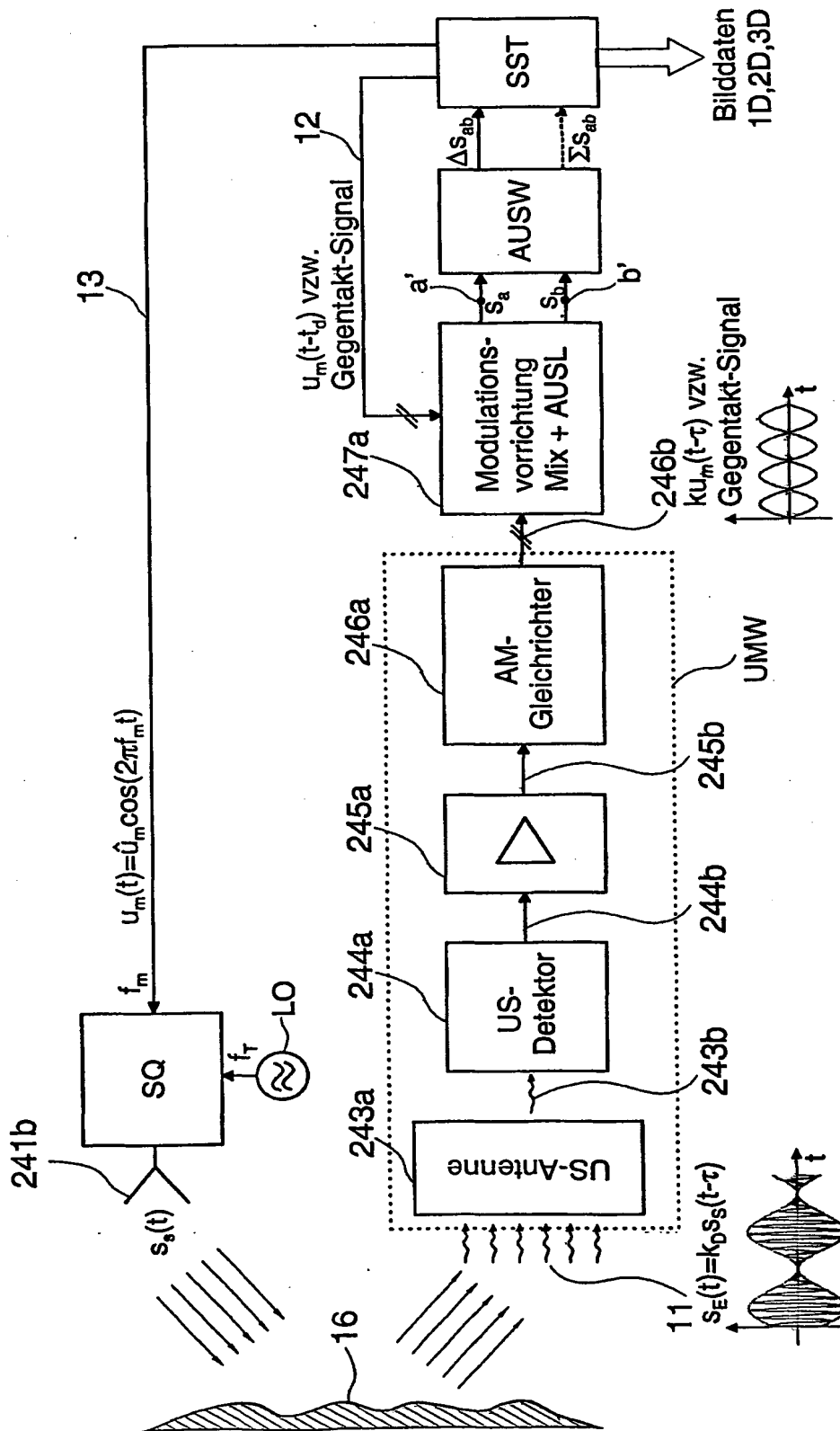


Fig. 24

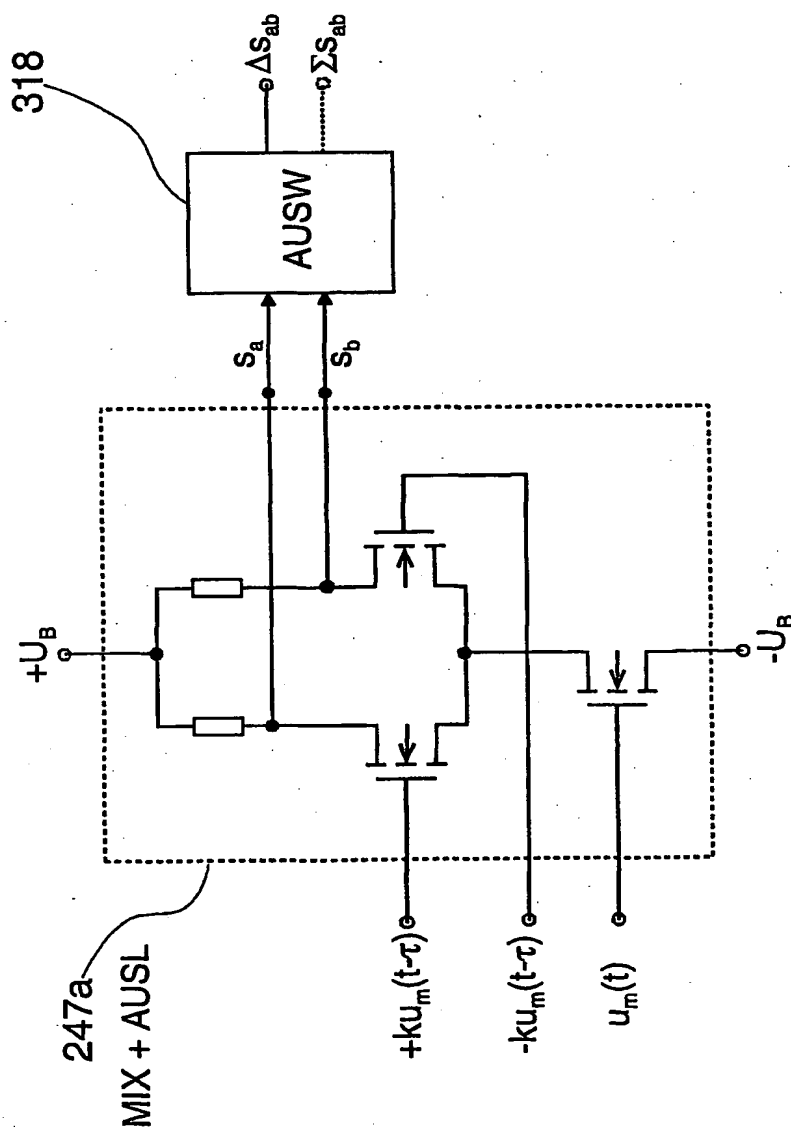


Fig. 25

Meßzyklus	φ_{md}	φ_x
1	0°	0°
2	0°	90°
3	0°	180°
4	0°	270°
5	90°	0°
6	90°	90°
7	90°	180°
8	90°	270°
9	180°	0°
10	180°	90°
11	180°	180°
12	180°	270°
13	270°	0°
14	270°	90°
15	270°	180°
16	270°	270°

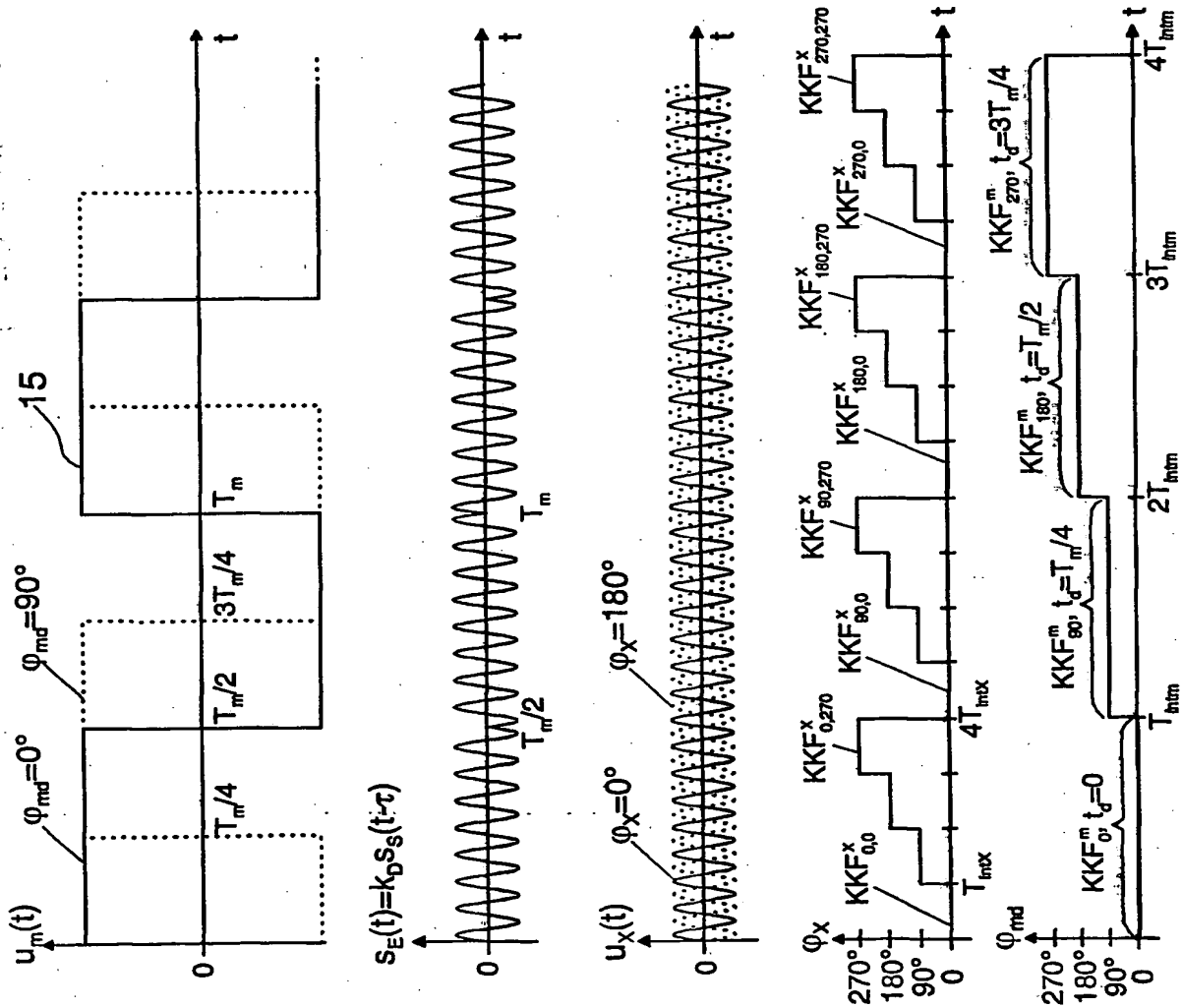


Fig. 27

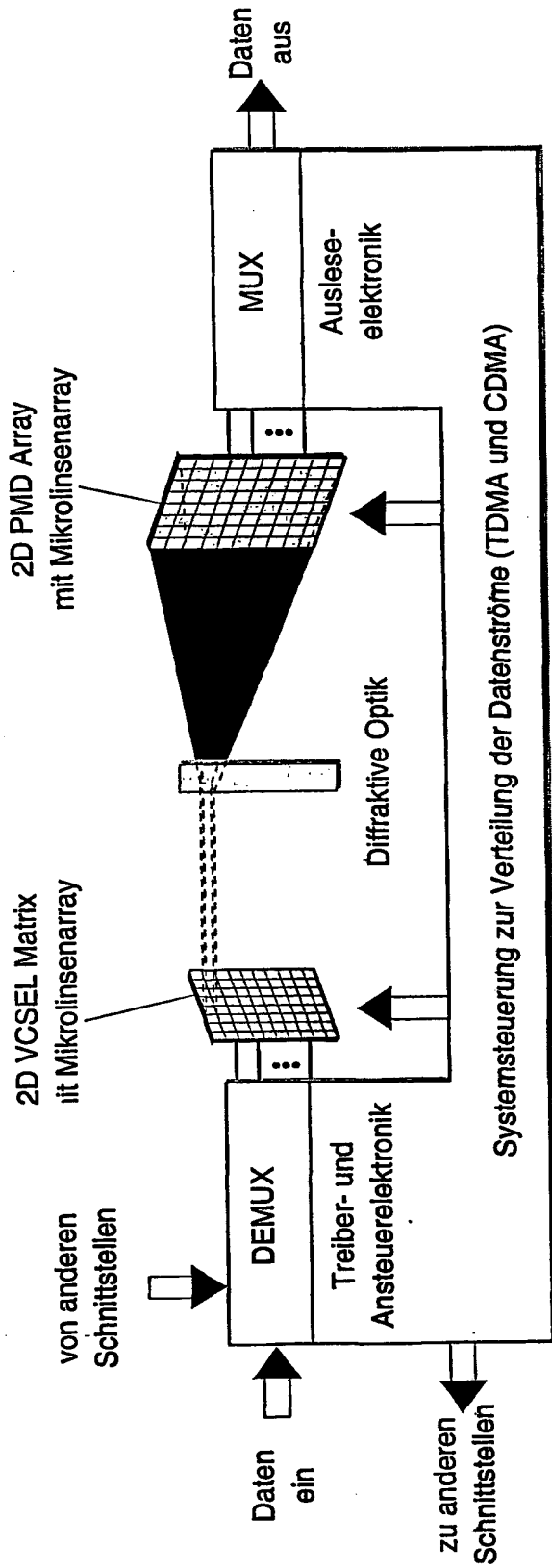


Fig. 28

BEST AVAILABLE COPY

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No
PCT/DE 00/03632A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H03D3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H03D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	R. SCHWARTE: "NEW ELECTRO-OPTICAL MIXING AND CORRELATING SENSOR : FACILITIES AND APPLICATIONS OF THE PHOTONIC MIXER DEVICE (PMD)electr" PROCEEDINGS OF THE SPIE , SPIE, BELLINGHAM,US,, vol. 3100, 1 January 1997 (1997-01-01), pages 245-253, XP002080273 BELLINGHAM , US page 246, line 10 -page 248, line 7; figures 1,2 — -/-	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 September 2001

Date of mailing of the international search report

20/02/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Butler, N

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Patent Application No
PCT/DE 00/03632

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SCHWARTE : "NEUARTIGE 3D-VISIONSYSTEME AUF DER BASIS LAYOUT-OPTIMIERTER PMD-STRUKTUREN" TECHNISCHES MESSEN TM,, vol. 65, no. 7/8, 1 July 1998 (1998-07-01), pages 264-271, XP000847213 MUNCHEN,DE page 264, column 1, line 1	1
A	DE 198 21 974 A (SCHWARTE) 25 November 1999 (1999-11-25) page 7, line 2 -page 8, line 36; figure 1	1
A	DE 44 39 298 A (SCHWARTE) 13 June 1996 (1996-06-13) page 4, line 2 -page 5, line 57; figures 1,2	1
A	DE 197 04 496 A (SCHWARTE) 12 March 1998 (1998-03-12) page 5, line 61 -page 8, line 5; figures 1-3,10,11	1
A	DE 43 28 553 A (SCHWARTE) 3 November 1994 (1994-11-03) page 4, line 6 -page 5, line 33; figure 1	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 00/03632

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19821974	A	25-11-1999	DE 19821974 A1	25-11-1999
			AU 5025599 A	06-12-1999
			BR 9910523 A	16-01-2001
			CN 1301401 T	27-06-2001
			WO 9960629 A1	25-11-1999
			EP 1080500 A1	07-03-2001
DE 4439298	A	13-06-1996	DE 4439298 A1	13-06-1996
DE 19704496	A	12-03-1998	DE 19704496 A1	12-03-1998
			AU 715284 B2	20-01-2000
			AU 4376197 A	26-03-1998
			BR 9712804 A	23-11-1999
			CN 1233323 A	27-10-1999
			CZ 9900693 A3	11-08-1999
			WO 9810255 A1	12-03-1998
			EP 1009984 A1	21-06-2000
			HU 0001087 A2	28-08-2000
			JP 2000517427 T	26-12-2000
DE 4328553	A	03-11-1994	DE 4328553 A1	03-11-1994

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int lationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/03632

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H03D3/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H03D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	R. SCHWARTE: "NEW ELECTRO-OPTICAL MIXING AND CORRELATING SENSOR : FACILITIES AND APPLICATIONS OF THE PHOTONIC MIXER DEVICE (PMD)electr" PROCEEDINGS OF THE SPIE , SPIE, BELLINGHAM,US,, Bd. 3100, 1. Januar 1997 (1997-01-01), Seiten 245-253, XP002080273 BELLINGHAM , US Seite 246, Zeile 10 -Seite 248, Zeile 7; Abbildungen 1,2 — — — — — -/-	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

25. September 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

20/02/2002

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Butler, N

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>SCHWARTE : "NEUARTIGE 3D-VISIONSYSTEME AUF DER BASIS LAYOUT-OPTIMIERTER PMD-STRUKTUREN" TECHNISCHES MESSEN TM,, Bd. 65, Nr. 7/8, 1. Juli 1998 (1998-07-01), Seiten 264-271, XP000847213 MÜNCHEN,DE Seite 264, Spalte 1, Zeile 1</p>	1
A	<p>DE 198 21 974 A (SCHWARTE) 25. November 1999 (1999-11-25) Seite 7, Zeile 2 -Seite 8, Zeile 36; Abbildung 1</p>	1
A	<p>DE 44 39 298 A (SCHWARTE) 13. Juni 1996 (1996-06-13) Seite 4, Zeile 2 -Seite 5, Zeile 57; Abbildungen 1,2</p>	1
A	<p>DE 197 04 496 A (SCHWARTE) 12. März 1998 (1998-03-12) Seite 5, Zeile 61 -Seite 8, Zeile 5; Abbildungen 1-3,10,11</p>	1
A	<p>DE 43 28 553 A (SCHWARTE) 3. November 1994 (1994-11-03) Seite 4, Zeile 6 -Seite 5, Zeile 33; Abbildung 1</p>	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 00/03632

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
DE 19821974	A	25-11-1999	DE	19821974	A1		25-11-1999	
			AU	5025599	A		06-12-1999	
			BR	9910523	A		16-01-2001	
			CN	1301401	T		27-06-2001	
			WO	9960629	A1		25-11-1999	
			EP	1080500	A1		07-03-2001	
DE 4439298	A	13-06-1996	DE	4439298	A1		13-06-1996	
DE 19704496	A	12-03-1998	DE	19704496	A1		12-03-1998	
			AU	715284	B2		20-01-2000	
			AU	4376197	A		26-03-1998	
			BR	9712804	A		23-11-1999	
			CN	1233323	A		27-10-1999	
			CZ	9900693	A3		11-08-1999	
			WO	9810255	A1		12-03-1998	
			EP	1009984	A1		21-06-2000	
			HU	0001087	A2		28-08-2000	
			JP	2000517427	T		26-12-2000	
DE 4328553	A	03-11-1994	DE	4328553	A1		03-11-1994	